

Ирина Викторовна Гордеева

Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

ivgord@mail.ru

АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ГОРЦА ПТИЧЬЕГО *POLYGONUM AVICULARE* НА РАЗВИТИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ К СОЛЕВОМУ СТРЕССУ ЛЬНА ПОСЕВНОГО

Цель исследования – изучение влияния аллелопатического воздействия экстрактов горца птичьего *Polygonum aviculare* L. на развитие семян и проростков льна посевного *Linum usitatissimum* L., а также толерантность растений данного вида к солевому стрессу на ранних стадиях онтогенеза в условиях *in vitro*. Задачи: оценить влияние водных экстрактов различных концентраций, полученных из листьев *P. aviculare* на всхожесть семян, а также ряд показателей раннего развития проростков *L. usitatissimum* (массу, длину главного корня и гипокотилья) в условиях солевого стресса, вызванного воздействием раствора NaCl и при отсутствии солевого стресса, сравнив данные значения с контрольными. Объект исследования – листья горца птичьего *Polygonum aviculare* L., аллелопатическая активность которого определялась с помощью стандартной методики на семенах и проростках высших растений. Исходный водный экстракт последовательно разводили дистиллированной водой в соотношениях 1 : 20, 1 : 40 и 1 : 80, в чашки Петри с семенами льна посевного вносили водные экстракты соответствующей концентрации; в половину чашек добавляли 0,05 М раствор NaCl. Всхожесть и морфометрические показатели проростков определяли ежедневно, начиная с 48 ч культивирования, на протяжении 5 сут. Максимальная концентрация экстракта при отсутствии солевого стресса приводила к достоверному снижению массы, длины корня и гипокотилья, но уменьшение ее до 1 : 40 и 1 : 80 способствовало существенному – до 10–12 % ($P < 0,05$) возрастанию данных показателей относительно контроля. При воздействии экстрактами средней и низкой концентрации в условиях солевого стресса наблюдалось возрастание всхожести семян, массы проростков длины гипокотилья и корня до исходных контрольных значений. Более высокая (1 : 20) концентрация экстракта не оказывала аналогичного стимулирующего эффекта. Выявленный аллелопатический стимулирующий эффект *P. aviculare* требует дальнейшей оценки в условиях *in vivo*.

Ключевые слова: аллелопатическое воздействие, *Polygonum aviculare* L., *Linum usitatissimum* L., солевой стресс, всхожесть семян, проростки

Для цитирования: Гордеева И.В. Аллелопатическое воздействие горца птичьего *Polygonum aviculare* на развитие и устойчивость к солевому стрессу льна посевного // Вестник КрасГАУ. 2025. № 11. С. 83–91. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-83-91.

Irina Viktorovna Gordeeva

Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

ivgord@mail.ru

ALLELOPATHIC EFFECT OF *POLYGONUM AVICULARE* ON THE DEVELOPMENT AND TOLERANCE TO SALT STRESS OF COMMON FLAX

The aim of the study is to investigate the allelopathic effect of *Polygonum aviculare* L. extracts on the development of *Linum usitatissimum* L. seeds and seedlings, as well as the tolerance of this species to salt stress at the early stages of ontogenesis *in vitro*. Objectives: to evaluate the effect of aqueous extracts of various concentrations obtained from *P. aviculare* leaves on seed germination, as well as a number of

early developmental parameters of *L. usitatissimum* seedlings (weight, length of the main root and hypocotyl) under salt stress caused by NaCl solution and in the absence of salt stress, comparing these values with the control. The object of the study was the leaves of *Polygonum aviculare* L., the allelopathic activity of which was determined using a standard technique on the seeds and seedlings of higher plants. The initial aqueous extract was successively diluted with distilled water in ratios of 1 : 20, 1 : 40, and 1 : 80. The aqueous extracts of the corresponding concentrations were added to Petri dishes containing flax seeds; a 0.05 M NaCl solution was added to half of the dishes. Germination and morphometric parameters of the seedlings were determined daily, starting from 48 hours of cultivation, for 5 days. The maximum extract concentration in the absence of salt stress resulted in a significant decrease in root and hypocotyl weight, length, and length, but decreasing it to 1 : 40 and 1 : 80 resulted in a significant increase of up to 10–12 % ($P < 0.05$) in these parameters relative to the control. Exposure to medium and low extract concentrations under salt stress resulted in an increase in seed germination, seedling weight, and hypocotyl and root length to the initial control values. A higher (1 : 20) extract concentration did not have a similar stimulating effect. The identified allelopathic stimulating effect of *P. aviculare* requires further evaluation under *in vivo* conditions.

Keywords: allelopathic effect, *Polygonum aviculare* L., *Linum usitatissimum* L., salt stress, seed germination, seedlings

For citation: Gordeeva IV. Allelopathic effect of *Polygonum aviculare* on the development and tolerance to salt stress of common flax. *Bulletin of KSAU*. 2025;(11):83-91. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-83-91.

Введение. Механизмы, формы, а также роль аллелопатических взаимодействий между различными видами растительных организмов (кроме того, между растениями и микроорганизмами) в природных, антропогенно измененных и искусственных биоценозах активно изучаются на протяжении последних десятилетий как российскими, так и зарубежными исследователями. К настоящему времени достаточно хорошо изучен целый ряд химических соединений, вырабатываемых различными органами растений в процессе метаболизма и выделяемых последними в окружающую среду для обеспечения повышенной выживаемости в конкурентной среде. В первую очередь внимание специалистов традиционно привлекает изучение фитотоксичности сорных, и особенно инвазивных видов, на территории агроценозов, проявляющейся в негативном эффекте для всхожести и прорастания семян культурных растений [1]. В частности, И.В. Горепекин, Г.Н. Федотов и С.А. Шоба отмечают эффект аллелопатического почвоутомления, замедляющего развитие живых организмов и проявляющегося в изменении почвенной среды посредством нарушения стандартной структуры, физико-химических свойств, pH, солевого баланса и других показателей вследствие воздействия комплекса аллелотоксинов, содержащихся в корневой системе и опавшей листве чужеродных для агрокомплексов видов растений [2]. Негативный эффект от воздействия экс-

трактов различных эврибионтных представителей флоры (чаще всего в экспериментах *in vitro*) на онтогенез зерновых, технических и других культур неоднократно отмечался в научных публикациях [3–6]. Как правило, ингибирующее влияние проявляется в снижении жизнеспособности и ослаблении показателей, характеризующих онтогенез, таких как всхожесть и энергия прорастания семян, длина главного корня и гипокотыля и др. Тем не менее, не следует упускать из внимания тот факт, что «аллелопатическая сфера», включающая разнообразные метаболиты высших растений, способна оказывать и диаметрально противоположное, стимулирующее воздействие, определяющееся как конкретным химическим составом метаболитов, так и видоспецифичностью растений-акцепторов [7–11]. Очевидно, что аллелохимикаты позволяют не только обеспечивать конкурентное преимущество растению-хозяину в конкретной среде обитания, но и способствовать формированию мутуалистических взаимоотношений между видами, что может быть использовано в сфере агроэкологии, в частности, при разработке альтернативных гербицидам механизмов защиты культурных растений и новых биотехнологических средств стимулирования роста и развития последних [12–13].

Особый интерес представляет изучение воздействия экстрактов растений, традиционно используемых в качестве источников лекарственных

ного сырья пролонгированного действия, основанного на высоком содержании в органах первых разнообразных биологически активных веществ стимулирующего действия. В исследованиях Р. Gupta показано, что экстракты, полученные из ряда видов высших растений, являющихся фармацевтическим сырьем, способны не только оказывать стимулирующее воздействие на онтогенез зерновых и технических культур, но и повышают общий уровень толерантности последних к неблагоприятным факторам окружающей среды [14]. Одним из подобных негативных факторов для большинства видов растений, относящихся к числу гликофитных, является солевой стресс — негативная реакция на повышенное содержание ионов хлора в почве, проявляющаяся, в частности, в снижении всхожести семян, замедлении темпов роста всходов, уменьшении биомассы растений и сокращении площади листовой поверхности. Известно, что растения существенно отличаются по степени чувствительности к солевому стрессу: высокой толерантностью отличается, например, хлопчатник, к гликофитным культурам традиционно относят гречиху посевную. В отношении *Linum usitatissimum* L. сведения о толерантности к ионам хлора не столь однозначны, хотя в целом отмечается, что данный вид растений характеризуется достаточно высокой устойчивостью к солевому стрессу в условиях *in vitro*, постепенно снижающейся по мере нарастания концентрации изучаемых растворов [15]. Ранее отмечалось, что аллелопатический эффект способен усиливать уровень солевого стресса, отрицательным образом сказываясь на жизнеспособности растений, однако нельзя исключать и противоположный эффект, определяемый видовой принадлежностью растений-доноров и акцепторов, составом и концентрацией биологически активных веществ, выделяемых видом — источником аллелопатических метаболитов, а также степенью толерантности экспериментальной культуры к солевому стрессу [5].

Цель исследования — изучение влияния аллелопатического воздействия экстрактов горца птичьего *Polygonum aviculare* L. на развитие семян и проростков льна посевного *Linum usitatissimum* L., а также толерантность растений данного вида к солевому стрессу на ранних стадиях онтогенеза в условиях *in vitro*.

Задачи: оценить влияние водных экстрактов различных концентраций, полученных из лис-

тьев *P. aviculare* на всхожесть семян, а также ряд показателей раннего развития проростков *L. usitatissimum* (массу, длину главного корня и гипокотилия) в условиях солевого стресса, вызванного воздействием раствора NaCl и при отсутствии солевого стресса, сравнив данные значения с контрольными.

Объекты и методы. В качестве объекта исследования использовались листья горца птичьего *Polygonum aviculare* L., которые собирались в июне-июле 2023 г. в районе с. Слобода Свердловской области на берегу р. Чусовой вдали от автомагистралей. Сырье было высушено стандартным воздушно-сухим способом и измельчено с помощью фарфоровых ступки и пестика. Оценка уровня аллелопатической активности осуществлялась согласно широко практикуемой методике, описанной в ряде источников, в частности, М.Н. Яхновца и Е.О. Юрченко, и состоящей в последовательном воздействии экстрактов высушенной фитомассы исследуемого растения различных концентраций на всхожесть и развитие экспериментальной тест-культуры [3]. Исходный водный экстракт *P. aviculare* L. получали путем помещения 5 г. сухих измельченных листьев данного растения в фарфоровую емкость, в которую добавляли 100 мл бидистиллированной воды [4]. Содержимое доводили до кипения и затем настаивали в течение 2 ч при комнатной температуре (23–24 °C) при периодическом перемешивании раствора для достижения наилучшего эффекта экстрагирования. Полученный экстракт пропускать через бумажный фильтр и помещался в холодильник на 24 ч при температуре 6–8 °C. Для проведения эксперимента приготовленный настой последовательно разводили дистиллированной кипяченой водой комнатной температуры в соотношениях 1 : 20, 1 : 40 и 1 : 80. Данные концентрации экстракта наиболее часто используются в подобных исследованиях и рекомендовали себя как удобные для выявления аллелопатического эффекта и оценки результатов его проявления [5].

Для выполнения поставленных задач потребовалось проведение биотестирования, описание которого приведено ниже.

Эксперимент осуществлялся в условиях *in vitro* в шестикратной повторности. Семена *L. usitatissimum* помещали в стеклянные чашки Петри между листами фильтровальной бумаги (в чашку помещалось 20 семян льна), в которые вно-

сили водный экстракт горца птичьего комнатной температуры заданной концентрации. Параллельно в половину чашек добавляли по 2 мл 0,05 М раствор NaCl. В качестве контроля использовали семена, проращиваемые при поливе дистиллированной водой. Культивирование содержимого чашек Петри осуществлялось в течение 144 ч при комнатной температуре. Всхожесть оценивалась ежедневно, начиная с 48 ч эксперимента, согласно стандартной методике. Помимо этого, начиная со вторых суток культивирования, регулярно определяли массу проростков, измеряли длину hypocotila и главного корня во всех вариантах эксперимента. Обработка результатов осуществлялась с помощью программ LibreOffice Calc 6.4 и Statistica

с оценкой средних арифметических значений всех показателей по каждой из выборок, коэффициентов вариации (CV) и t-критерия, на основании которого определялась достоверность различий между контролем и экспериментальными выборками.

Результаты и их обсуждение. Проведенные исследования позволили выявить аллелопатическое влияние водных экстрактов горца птичьего на всхожесть и ряд морфологических показателей ранних этапов онтогенеза *L. usitatissimum*, а также уровень устойчивости данной культуры к солевому стрессу. В таблице 1. представлены в динамике данные по всхожести семян льна посевного во всех вариантах эксперимента, включая воздействие солевым стрессом.

Таблица 1

Влияние водных экстрактов листьев *Polygonum aviculare* L. на всхожесть семян *Linum usitatissimum* L. и их устойчивость к солевому стрессу
Influence of *Polygonum aviculare* L. leaves aquatic extracts on *Linum usitatissimum* L. seed germination and their tolerance towards salt stress

Концентрация экстракта <i>Polygonum aviculare</i> L.	Всхожесть, %				
	Проращивание при отсутствии воздействия раствора NaCl				
	48 ч	72 ч	96 ч	120 ч	144 ч
0 (контроль)	86,1±2,3	87,6±2,1	88,1±2,0	88,3±2,0	89,2±2,0
1 : 20	87,2±2,4	88,8±2,2	89,0±1,8	89,3±1,9	90,3±2,0
1 : 40	88,9±3,1	92,3±2,8	93,2±2,4	93,7±2,1	93,9±2,1
1 : 80	90,2±2,7	94,6±3,1*	95,2±2,3*	96,1±2,6*	96,1±2,4*
	Проращивание при воздействии 0,05 М раствора NaCl				
	48 ч	72 ч	96 ч	120 ч	144 ч
0 (контроль)	73,2±2,2	74,6±2,4	78,1±2,1	78,3±2,2	78,5±2,2
1 : 20	77,4±2,3	78,5±2,4	83,0±1,9	84,3±2,3	86,1±2,3*
1 : 40	86,3±2,4*	88,5±3,1*	90,2±2,6*	91,2±2,8*	91,2±2,9*
1 : 80	89,0±3,7**	91,2±2,4**	93,2±3,0**	94,1±2,8**	94,2±3,3**

Здесь и далее. Статистически достоверное различие между выборкой и контролем: *P < 0,05; **P < 0,01.

Как показывает анализ представленных результатов, на протяжении первых двух суток проращивания семян льна посевного, подвергшихся воздействию только экстрактов *P. aviculare*, не наблюдается достоверных различий между экспериментальными выборками и контролем, что противоречит ряду литературных данных [1–3]. На третьи сутки проращивания было выявлено достоверное (P < 0,05) возрастание всхожести семян *L. usitatissimum* при минимальной концентрации экстракта горца птичьего (1 : 80) и данная тенденция продолжала сохраняться на протяжении оставшегося времени культивирования. При более высоких

концентрациях экстрактов достоверные различия между контрольными и экспериментальными объектами по-прежнему не фиксировались, что может свидетельствовать о значимости уровня концентрации метаболитов, обладающих аллелопатической активностью, что отмечалось и другими исследователями [6–8]. В частности, И.А. Гетманец, Д.Ю. Нохрин и П.В. Левченко указывают, что многомерный анализ аллелопатической активности продемонстрировал статистически значимое влияние концентраций растворов аллелопатических метаболитов на всхожесть растений-акцепторов с обратной зависимостью: наиболее высокие показатели

всхожести наблюдались при минимальной концентрации водных вытяжек [8]. Данный эксперимент подтверждает указанную зависимость, но, кроме того, выявляет стимулирующий эффект экстрактов горца птичьего на всхожесть семян, что, как ранее указывалось, отмечалось гораздо реже.

Гораздо больший интерес представляют результаты оценки аллелопатического воздействия экстрактов *P. aviculare* в условиях солевого стресса, вызванного влиянием раствора хлорида натрия. Достаточно высокая концентрация раствора (0,05 М) была выбрана, поскольку ранее экспериментальные данные показали более успешную адаптацию проростков *L. usitatissimum* к повышенному содержанию ионов хлора по сравнению со многими другими гликофитными культурами [15]. В данном случае был зафиксирован отчетливый негативный эффект солевого стресса для всхожести контрольной выборки (под контролем подразумевалось проращивание семян *L. usitatissimum* только при

воздействии раствора хлорида натрия на протяжении всех пяти суток эксперимента). Однако использование растворов, содержащих метаболиты аллелопатического действия, приводит к стимулирующему воздействию на всхожесть семян: экстракты концентраций 1 : 40 и особенно 1 : 80 достоверно усиливали значения данного показателя и этот позитивный тренд сохранялся в течение всей продолжительности эксперимента; в то же время для более высокой концентрации экстракта горца птичьего (1 : 20) достоверного эффекта практически не наблюдалось, за исключением последнего дня измерений. Таким образом, можно предположить, что стимулирующее воздействие метаболитов *P. aviculare* демонстрирует обратно пропорциональную зависимость от концентрации раствора последних.

Ниже в таблице 2 отражены результаты оценки аллелопатического влияния экстрактов горца птичьего на массу проростков льна посевного.

Таблица 2

**Влияние водных экстрактов листьев *Polygonum aviculare* L.
на массу проростков *Linum usitatissimum* L.
Influence of *Polygonum aviculare* L. leaves aquatic extracts
on *Linum usitatissimum* L. seedlings mass**

Концентрация экстракта <i>Polygonum aviculare</i> L.	Средняя масса проростков, мг				
	Проращивание при отсутствии воздействия раствора NaCl				
	48 ч	72 ч	96 ч	120 ч	144 ч
0 (контроль)	22,1±0,9	29,6±1,2	34,2±1,4	41,1±1,8	47,2±2,1
1:20	17,2±1,4*	23,8±1,2*	28,0±1,3*	32,3±1,2*	34,5±1,0**
1:40	25,9±1,3	32,4±1,6	37,5±1,4	46,7±1,7*	53,4±1,8*
1:80	23,2±1,7	30,6±1,1	35,2±1,3	42,1±1,6	48,6±1,3
	Проращивание при воздействии 0,05 М раствора NaCl				
	48 ч	72 ч	96 ч	120 ч	144 ч
0 (контроль)	16,4±1,2	21,7±1,5	23,8±1,1	33,8±1,6	37,1±1,7
1:20	17,8±1,3	24,5±1,2	29,0±0,9	37,1±1,3	40,1±1,1
1:40	20,6±1,4	26,5±1,1*	32,2±1,6*	38,6±1,8*	44,6±1,9*
1:80	23,0±1,6*	30,2±1,4**	33,9±1,0*	41,8,1±1,8**	48,2±1,6**

Анализируя данные, представленные в таблице 2, можно сделать несколько предварительных заключений. Во-первых, минимальная концентрация экстракта горца птичьего (1 : 80) без всяких дополнительных факторов практически не оказывает воздействия на общую массу проростков в течение всех дней эксперимента. Во-вторых, повышение первого показателя в два раза (до 1 : 40) демонстрирует определен-

ное позитивное влияние на среднюю массу (до 53,4 ± 1,8 по сравнению с 47,2 ± 2,1 в контроле), начиная со 120 ч эксперимента, и эта тенденция сохраняется. В-третьих, дальнейшее нарастание концентрации аллелопатических метаболитов (до 1 : 20) сопровождается однозначным негативным воздействием на среднюю массу проростков льна посевного на протяжении всех дней исследования, постепенно усили-

вающимися к моменту завершения эксперимента, но при этом значение величины не отклоняется от контрольного. Таким образом, подтверждается тезис о достоверной роли концентрации экстракта для величины и направления эффекта от воздействия последнего на ранний онтогенез растений.

Оценка аллелопатического влияния *Polygonum aviculare* в условиях дополнительного солевого стресса не выявила дополнительного усиливающего воздействия экстрактов на чувствительность проростков к ионам хлора, что несколько противоречит результатам экспериментов А.О. Герасимова [5]. Очевидно, что результаты во многом определяются конкретной видовой принадлежностью как растения-донора метаболитов, так и акцептора. Более того, постепенное снижение концентрации экстракта приводит к достоверно значимому стимулирующему воздействию на массу проростков, которая при аллелопатических показателях 1 : 80 ($48,2 \pm 1,6$) практически не отличается от таковой при контрольном поливе *L. usitatissimum* исключительно дистиллированной водой ($47,2 \pm 2,1$), что позволяет предположить нейтрализующий эффект метаболитов горца птичьего по отношению к повышенной концентрации ионов хлора в окружающей среде.

В работе М.В. Лабковской, В.А. Куркина и А.А. Шмыгаревой показано, что горец птичий *Polygonum aviculare* L. является широко распространенным эврибионтным видом с большим диапазоном толерантности в отношении различных неблагоприятных факторов, получившим применение в фармацевтической промышленности благодаря высокому содержанию биофлавоноидов в надземной части растений [16]. Возможно, определенная группа биологически активных веществ не только обеспечивает растению высокую степень адаптабельности, но и позволяет создавать мутуалистическое взаимодействие с представителями других видов, занимающих сходные экологические ниши.

В таблице 3 представлены результаты оценки длины надземной части растений льна посевного (гипокотили) и длины главного корня в динамике на протяжении пяти суток эксперимента. Несмотря на то, что в ряде работ отмечается более высокая чувствительность корневой системы к действию аллелопатических веществ по сравнению с гипокотилем, в данном эксперименте уделялось внимание обоим показателям, поскольку токсичность растворов горца птичьего *a priori* не была установлена [1–3].

Таблица 3

Влияние водных экстрактов листьев *Polygonum aviculare* L. на длину корней и гипокотили *Linum usitatissimum* L.
Influence of *Polygonum aviculare* L. leaves aquatic extracts on *Linum usitatissimum* L. root and hypocotyl length

Концентрация экстракта <i>Polygonum aviculare</i> L.	Проращивание при отсутствии воздействия раствора NaCl			
	Длина главного корешка, мм	CV, %	Длина гипокотили, мм	CV, %
0 (контроль)	$28,7 \pm 0,6$	20,9	$30,7 \pm 0,6$	19,5
1 : 20	$24,5 \pm 0,4^*$	16,3	$27,6 \pm 0,5^*$	18,1
1 : 40	$29,7 \pm 0,8$	26,9	$34,1 \pm 0,9^*$	26,4
1 : 80	$30,2 \pm 0,6$	19,9	$36,3 \pm 0,8^*$	22,0
Проращивание при воздействии 0,05 М раствора NaCl				
0 (контроль)	$18,0 \pm 0,5$	27,8	$22,1 \pm 0,3$	13,6
1 : 20	$20,4 \pm 0,7$	34,3	$24,7 \pm 0,6$	24,3
1 : 40	$25,9 \pm 0,6^*$	23,2	$29,7 \pm 0,5^*$	16,8
1 : 80	$30,4 \pm 0,9^{**}$	29,6	$32,8 \pm 0,8^{**}$	24,4

Итоговые данные по средней длине надземной и подземной части растений к концу исследования показывают, что в данном случае, вопреки распространенному мнению, гипокотиль льна посевного оказался не менее надежным

показателем чувствительности растений к аллелопатическому воздействию, возможно, в связи с практически полным отсутствием ингибирующего влияния со стороны экстрактов *Polygonum aviculare* (за исключением макси-

мально концентрированного экстракта 1 : 20), вместо которого проявляется стимулирующий эффект. При этом длина гипокотилия достоверно отличалась ($P < 0,05$) при воздействии экстрактами концентраций 1 : 40 и 1 : 20 в сторону повышения значений (наблюдался однозначный стимулирующий эффект), в то время как для длины главного корня подобной тенденции выявлено не было. Следовательно, можно предположить, что если корневая система более оперативно реагирует на ингибирующее воздействие аллелопатических метаболитов, то надземная часть растений не менее активно воспринимает стимулирующее действие метаболитов растения-донора.

В случае наличия солевого стресса корневая система действительно реагирует в большей мере, чем гипокотиль – происходит существенное сокращение длины по сравнению с таковой для растений, не подвергающихся никаким внешним воздействиям, однако добавление экстрактов горца птичьего позволяет несколько снизить негативный эффект от присутствия ионов хлора даже при высокой концентрации метаболитов аллелопатического раствора, а при дальнейшем уменьшении концентрации длина как надземной, так и подземной части проростков льна посевного постепенно возвращается к норме (контрольным значениям в верхней части таблицы) и даже несколько превышает ее. Значения коэффициента вариации при этом не демонстрируют слишком высоких показателей изменчивости для обоих морфометрических величин. Таким образом, и при оценке данных морфометрических показателей ранних этапов онтогенеза проростков *L. usitatissimum* фиксируется не только стимулирующее аллелопатическое влияние экстрактов *P. aviculare* на развитие данного вида растений, но и эффект нейтрализации негативного воздействия солевого стресса, способствующий более успешной адаптации организмов к экстремальным условиям существования.

Заключение. Результаты проведенного исследования продемонстрировали наличие аллелопатической активности водных экстрактов

Polygonum aviculare (горца птичьего), проявляющейся в стимулирующем воздействии последних на массу проростков, длину гипокотилия и главного корешка растений вида *Linum usitatissimum* на ранних этапах онтогенеза. В то же время концентрация экстракта играла существенную роль в проявляемом эффекте: максимальная концентрация (1 : 20) либо не оказывала достоверного влияния, либо приводила к достоверному снижению таких показателей, как всхожесть семян, масса проростков, длина корня и гипокотилия по сравнению с контролем. Однако постепенное снижение концентрации экстракта (до 1 : 40 и 1 : 80) не только возвращало указанные значения к норме, но и способствовало достоверному ($P < 0,05$ и $P < 0,01$) возрастанию значений всхожести семян, массы проростков и их длины относительно исходных величин до 10–12 %. Таким образом, можно сделать вывод о мутуалистическом, а не конкурентном механизме взаимодействия между данными видами растений. Изучение аллелопатического эффекта экстрактов горца птичьего в условиях солевого стресса, вызванного негативным воздействием на развитие льна посевного раствора 0,05 М NaCl, показало, что *Polygonum aviculare* оказывает положительное влияние на преодоление данной культурой последствий подобного воздействия, что проявляется в повышении всех упоминавшихся выше показателей до контрольных значений при использовании экстрактов концентраций 1 : 40 и 1 : 20. Более высокая концентрация экстракта не демонстрировала подобного положительного результата, что позволяет заключить о достоверной роли концентраций аллелопатических метаболитов в процессе воздействия на растения и обратно пропорциональной зависимости между последней и последствиями аллелопатического эффекта, что отмечалось и рядом других исследователей [2–6]. Дальнейшего изучения требует анализ аллелопатического влияния экстрактов *Polygonum aviculare* на другие виды технических и зерновых культур, а также оценка данного эффекта в условиях *in vivo*.

Список источников

1. Эбель Т.В., Михайлова С.И., Эбель А.Л. Аллелопатическая активность трехреберника непахучего (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.) // Вестник КрасГАУ. 2024. № 5 (206). С. 70–76. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-70-76.
2. Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Шоба С.А. Аллелотоксичность почв (обзор) // Почвоведение. 2022. № 312. С. 1530–1539. DOI: 10.31857/S0032180X22600809.

3. Яхновец М.Н., Юрченко Е.О. Оценка биологической активности экстрактов из листьев *Acer negundo* и *Robinia pseudoacacia* на проростках тест-культур // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2023. № 1. С. 20–31. DOI:10.46646/2521-683X/2023-1-20-31.
4. Omer H., Mohammed I. Allelopathic effects of mesquite (*Prosopis juliflora*) aqueous extracts on seeds germination and seedling growth of alfalfa, sesame and sorghum // Cell Biology and Development. 2017. Vol. 1. №. 2. P. 51–54. DOI: 10.13057/cellbioldev/t010203.
5. Герасимов А.О., Поляк Ю.М. Оценка влияния засоления на аллелопатическую активность микромицетов в дерново-подзолистой почве // Агрохимия. 2021. № 3. С. 51–59. DOI: 10.31857/S0002188121030078.
6. Sitthinoi P., Lertmongkol S., Chanprasert W., et. al. Allelopathic effects of jungle rice (*Echinochloa colona* (L.) Link) extract on seed germination and seedling growth of rice // Agriculture and Natural Resources. 2017. N 51. P. 74–78. DOI: 10.1016/j.anres.2016.09.004.
7. Гетманец И.А., Левченко П.В., Мальцева Т.А. Биоморфологический подход к изучению аллелопатического воздействия *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Huds. // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. 2021. № 2 (38). С. 15–26. DOI: 10.32516/2303-9922.2021.38.2.
8. Гетманец И.А., Нохрин Д.Ю., Левченко П.В. Использование многомерного анализа для оценки аллелопатической активности *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Huds. В естественных и искусственных фитоценозах Южного Урала // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 1. С. 21–29. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-4-021-029.
9. Ганусяк А.П., Симагина Н.О., Пищурова В.С. Характеристика аллелопатической активности водорастворимых веществ *Halimione verrucifera* (M. Bieb.) Aellen при термическом воздействии // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. 2019. Т. 5 (71), № 4. С. 22–32.
10. Поляк Ю.М., Сухаревич В.И. Аллелопатические взаимоотношения растений и микроорганизмов в почвенных экосистемах // Успехи современной биологии. 2019. Т. 139, № 2. С. 147–160. DOI: 10.1134/S0042132419020066.
11. Gomaa N., Hassan M., Fahmy G., et al. Allelopathic effects of *Sonchus oleraceus* L. on the germination and seedling growth of crop and weed species // Acta Botanica Brasilica. 2014. № 28 (3). P. 408–416. DOI: 10.1590/0102-33062014abb3433.
12. Кондратьев М.Н., Ларинова Ю.С. Аллелопатия как механизм взаимодействия между растениями, растениями и насекомыми, растениями и микроорганизмами // Аграрная наука. 2019. № 2. С. 57–61. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-2-57-61.
13. Cheng F., Cheng Zh. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy // Frontiers of Plant Science. 2015. Vol. 6. P. 1–16. DOI: 10.3389/fpls.2015.01020.
14. Gupta P. Allelopathic effect of extracts of medicinal plant on mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) *in vitro* conditions // International Journal of Development Research. 2016. Vol. 6, N. 9. P. 9318–9321.
15. Гордеева И.В., Алешина Л.В. Влияние различных концентраций NaCl на всхожесть и развитие проростков льна посевного (*Linum usitatissimum* L.) // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 6 (60). Ч. 2. С. 10–15. DOI: 10.23670/IRJ.2017.60.007.
16. Лабковская М.В., Куркин В.А., Шмыгарева А.А. Модификация методики количественного определения флавоноидов в траве горца птичьего *Polygonum aviculare* L. // Аспирантский вестник Поволжья. 2024. Т. 24 (2). С. 81–85. DOI: 10.35693/AVP626577.

References

1. Ebel TV, Mikhailova SI, Ebel AL. Allelopathic activity of the scentless false mayweed (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.). *Bulletin of KSAU*. 2024;(5):70-76. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-70-76.
2. Gorepekin IV, Fedotov GN, Shoba SA. Allelotoxicity of soils (Review). *Eurasian Soil Science*. 2022;312:1530-1539. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0032180X22600809.

3. Yakhnovets MN, Yurchenko EO. Evaluation of the biological activity of the extracts from *Acer negundo* and *Robinia pseudoacacia* leaves on germination seeds of test cultures. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2023;1:20-31. (In Russ.). DOI:10.46646/2521-683X/2023-1-20-31.
4. Omer H, Mohammed I. Allelopathic effects of mesquite (*Prosopis juliflora*) aqueous extracts on seeds germination and seedling growth of alfalfa, sesame and sorghum. *Cell Biology and Development*. 2017;1(2):51-54. DOI: 10.13057/cellbioldev/t010203.
5. Gerasimov AO, Polyak YuM. Assessment of the effect of salinity on the allelopathic activity of micromycetes in sod-podzolic soil. *Agrohimiya*. 2021;3:51-59. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188121030078.
6. Sitthinoi P, Lertmongkol S, Chanprasert W, et al. Allelopathic effects of jungle rice (*Echinochloa colona* (L.) Link) extract on seed germination and seedling growth of rice. *Agriculture and Natural Resources*. 2017;51:74-78. DOI: 10.1016/j.anres.2016.09.004.
7. Getmanets IA, Levchenko PV, Maltseva TA. Biomorphological approach to the study of allelopathic effects of *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Huds. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University*. 2021;2:15-26. (In Russ.). DOI: 10.32516/2303-9922.2021.38.2.
8. Getmanets IA, Nokhrin DYU, Levchenko PV. Assessment of *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Huds. Allelopathic activity in natural and artificial phytocenoses of the Southern Urals using multivariable analysis. *Theoretical and Applied Ecology*. 2025;1:21-29. (In Russ.). DOI: 10.25750/1995-4301-2024-4-021-029.
9. Ganysyak AP, Simagina NO, Pishchurova VS. Characteristics of allelopathic activity *Halimione verrucifera* (M.Bieb.) Aellen water-soluble substances under thermal exposure. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University*. 2019;5(4):22-32. (In Russ.).
10. Polyak YuM, Sukharevich VI. Allelopathic interaction between plants and microorganisms. *Uspehi Sovremennoj Biologii*. 2019;139(2):147-160. (In Russ.).
11. Gomaa N, Hassan M, Fahmy G, et al. Allelopathic effects of *Sonchus oleraceus* L. on the germination and seedling growth of crop and weed species. *Acta Botanica Brasilica*. 2014;28:408-416. DOI: 10.1590/0102-33062014abb3433.
12. Kondratiev MN, Larikova YuS. Allelopathy as a mechanism of interaction plants and plants, plants and insects, plants and microorganisms. *Agrarian Science*. 2019;2:57-61. (In Russ.). DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-2-57-61.
13. Cheng F, Cheng Zh. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers of Plant Science*. 2015;6:1-16. DOI: 10.3389/fpls.2015.01020.
14. Gupta P Allelopathic effect of extracts of medicinal plant on mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) *in vitro* conditions. *International Journal of Development Research*. 2016;6(9):9318-9321.
15. Gordeeva IV, Alyoshina LV. Influence of various concentrations of NaCl on germination ability of seeds of common flax (*Linum usitatissimum* L.). *International Research Journal*. 2017;6(2):10-15. DOI: 10.23670/IRJ.2017.60.007.
16. Labkovskaya MV, Kurkin VA., Shmygareva AA. Modification of the method of quantitative determination of flavonoids in the grass of *Polygonum aviculare* L. *Aspirantskiy Vestnik Povolzh'ya*. 2024;24:81-85. (In Russ.). DOI: 10.35693/AVP626577.

Статья принята к публикации 23.09.2025 / The article accepted for publication 23.09.2025.

Информация об авторах:

Ирина Викторовна Гордеева, доцент кафедры физики и химии, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Irina Viktorovna Gordeeva, Associate Professor, Department of Physics and Chemistry, Candidate of Biological Sciences