

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 581.14(632.51+633/635)

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-3-197-206>

Поступила в редакцию 18.12.2024

Received 18.12.2024

В. Н. Прохоров

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

ИНВАЗИВНЫЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОПЕСТИЦИДОВ

Аннотация. Эффект водных экстрактов растений на рост тест-культур зависит как от вида растения, так и от концентрации водной вытяжки. Экстракты, полученные из различных органов инвазивных видов растений, в основном оказывают ингибирующее действие на энергию прорастания, всхожесть и рост проростков тест-культур. Интенсивность ингибирования возрастает с увеличением концентрации экстракта. С уменьшением концентрации ингибирующий эффект снижается и имеет тенденцию к стимулированию процессов прорастания тест-культур. Изменяя концентрацию водных экстрактов, полученных из инвазивных видов растений, и тип растительного сырья (корневище, корни, стеблекорень, стебель, листья, соцветия, семена), можно формировать биологически активные препараты с заданными свойствами (ингибирующие, стимулирующие).

Ключевые слова: инвазивные виды, золотарник канадский, недотрога мелкоцветковая, недотрога железконосная, мелколепестник канадский, мелколепестник однолетний, эхиноцистис лопастной, щавель конский

Для цитирования: Прохоров, В. Н. Инвазивные виды растений как перспективные источники растительного сырья для создания биопестицидов / В. Н. Прохоров // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2025. – Т. 70, № 3. – С. 197–206. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-3-197-206>

Valery N. Prokhorov

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

INVASIVE PLANT SPECIES AS PROMISING SOURCES OF PLANT RAW MATERIALS FOR CREATING BIOPESTICIDES

Abstract. The effect of aqueous plant extracts on the growth of test cultures exhibits a dependence on both the plant species and the concentration of the aqueous extract. Extracts obtained from various organs of invasive plant species primarily exert an inhibitory effect on the germination energy, germination and growth of test crop seedlings. The intensity of inhibition increases with the increasing extract concentration. With decreasing extract concentration, the inhibitory effect diminishes and tends to stimulate the germination processes of test crops. By varying the concentration of aqueous extracts obtained from invasive plant species and the type of plant material (rhizome, roots, rhizome, stem, leaves, inflorescences, seeds), it is possible to form biologically active preparations with specified properties (inhibitory, stimulating).

Keywords: invasive species, Canadian goldenrod, small-flowered impatiens, iron-bearing impatiens, Canadian fleabane, annual fleabane, echinocystis lobata, horse sorrel

For citation: Prokhorov V. N. Invasive plant species as promising sources of plant raw materials for creating biopesticides. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2025, vol. 70, no. 3, pp. 197–206 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-3-197-206>

Введение. Распространение инвазивных видов – одна из основных угроз сохранению биологического разнообразия в мире [1]. Для многих стран инвазивные виды представляют даже более серьезную опасность по сравнению с изменением климата [2]. Инвазивные виды приводят к огромным экономическим потерям, которые в разных странах могут достигать нескольких десятков миллиардов долларов [3, 4]. Так, в Новой Зеландии затраты на борьбу с инвазивными видами составляют около 1 % ВВП [5]. Недавно опубликованы результаты научных исследований данных начиная с 1970 г. [6], согласно которым стоимость ущерба, причиняемого вторжением инвазивных видов по всему миру, утраивается каждое десятилетие, причем быстрорастущие расходы не имеют тенденции к замедлению и более чем в 10 раз превышают финансирование

на предотвращение или борьбу с биологической экспансией – несмотря на огромные затраты, острота проблемы не снижается, а наоборот, возрастает с каждым годом.

В связи с этим, очень важно понять, какие биотические и абиотические факторы оказывают решающее влияние на увеличение уровня инвазивности чужеродных видов растений. Почему инвазивные растения часто более конкурентоспособны в новом ареале, чем в родном, является центральным вопросом инвазивной биологии растений [7]. На этот счет существуют различные гипотезы [8, 9]. Многие исследователи отмечают, что часто ключевым механизмом проявления инвазивности у растений является аллелопатия [10], которая может способствовать чужеродным видам стать доминирующими в новых растительных сообществах [11].

Известно, что некоторые виды инвазивных растений выделяют аллелопатически активные соединения в почву как для ингибирования почвенных патогенов и прорастания семян других видов растений, так и для защиты от болезней [12] и вредителей [13]. В этой связи существует перспектива использования инвазивных видов растений как источника биологически активных веществ для создания экологически безопасных биопестицидов и регуляторов роста [14].

Синтетические химические вещества, несомненно, внесли большой вклад в повышение продуктивности сельского хозяйства и обеспечения продовольственной безопасности [15]. Однако загрязнение окружающей среды и потенциальный ущерб здоровью человека, вызванные синтетическими пестицидами и повышением устойчивости сорняков к гербицидам, сегодня рассматриваются как реальная острая проблема [16]. В этой связи большой интерес представляет направление по постепенной замене синтетических пестицидов экологически безопасными биопрепаратами, созданными на основе биологически активных веществ растительного происхождения. В этом плане особенно перспективны научно-практические исследования по использованию инвазивных видов растений как неограниченного источника вторичных метаболитов, являющихся основными химическими соединениями, ингибирующими рост и развитие патогенных организмов [17]. Биопестициды легко поддаются биологическому разложению, имеют относительно короткий период полураспада, поэтому они намного безопаснее, чем искусственные синтезированные [18]. Технология, которая использует аллелопатически активные соединения для производства экологически чистых пестицидов и регуляторов роста растений, позволяет эффективно управлять сельскохозяйственным производством и создает мало экологических проблем в почве из-за довольно высокой разлагаемости аллелохимических веществ. В этом контексте аллелопатия представляет собой важный инструмент для селективной биологической борьбы с сорняками, болезнями и вредителями сельскохозяйственных растений [19].

В ряде исследований показана возможность использования аллелопатически активных экстрактов из растений в качестве биопестицидов [20]. Установлено, что соединения, выделяемые некоторыми видами из семейств *Acanthaceae*, *Amaranthaceae*, *Chenopodiaceae*, *Brassicaceae*, *Magnoliaceae*, обладают выраженными противогрибковыми свойствами, из семейств *Compositae*, *Poaceae*, *Papilionaceae* – нематоцидными свойствами [21]. В этой связи возможно использование аллелопатически активных веществ для создания биопестицидов различной направленности.

Часть этих соединений обладает антибактериальной и фунгицидной активностью [22], а также является средством отпугивания травоядных животных. Так, терпеноиды защищают растения от целого ряда насекомых, бактерий, млекопитающих травоядных и фитопатогенов, а также привлекают энтомофагов и опылителей, нейтрализующих ряд химически активных соединений, подавляющих прорастание семян растений-конкурентов [23].

Природные компоненты широко используются в сельском хозяйстве и пищевой промышленности для контроля патогенных бактерий и грибов. Например, экстракты адатоды сосудистой (*Adhatoda vasica*), эвкалипта шаровидного (*Eucalyptus globulus*), лантаны сводчатой (*Lantana camara*), нериума (*Nerium oleander*) и базилика душистого (*Ocimum basilicum*) в некоторой степени могут подавлять рост мицелия *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Богатые фенолами эфирные масла *Origanum heracleoticum* способны подавлять рост некоторых фитопатогенных грибов после сбора урожая (*Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Aspergillus niger* и *Monilinia fructicola*). Эфирные масла из надземных частей душицы (*Origanum vulgare* L.), тимьяна (*Thymus serpyllum* L.), лаванды (*Lavandula spica* L.), розмарина (*Rosmarinus officinalis* L.), фенхеля (*Foeniculum vulgare* Mill.)

и лавра (*Laurus nobilis* L.) подавляют рост *Phytophthora infestans*, причем действие летучих соединений эфирных масел более эффективно, чем контактный эффект. Эфирные масла лавра (*L. nobilis* L.) могут подавлять рост некоторых грибов в процессе хранения персиков и киви. Кроме того, лавровое масло может полностью остановить рост *M. laxa* в концентрации 200 мкг/мл и *B. cinerea* в концентрации 1000 мкг/мл.

Известными соединениями, обладающими потенциальной гербицидной активностью, являются сорголеон, артемизинин, айлантон и др. [24]. Ярким примером успешного применения био-гербицидов на практике считаются экстракты из растений сорго и риса, которые можно эффективно использовать, не причиняя вреда основной культуре. Исследования показали, что сорголеон, являясь основным составляющим корневого экссудата сорго двуцветного (более 80 %) [25], эффективен против большинства сорняков при одновременной толерантности к нему культурных видов растений. Так, в Индии опрыскивание орошаемой пшеницы экстрактами из сорго снижало количество сорняков на 35–50 % при одновременном повышении урожая на 10–20 % [26]. По данным F. S. Matos с соавт. [27], при обработке посевов риса, хлопка, сои, пшеницы, кукурузы 10%-м водным экстрактом «Соргаб», полученным из зеленой массы сорго, плотность сорняков снижалась на 44 %, а урожай при этом возрастал на 30–40 %.

Аллелопатические соединения можно применять в качестве матриц для синтеза новых пестицидов. Особенно ярким примером использования научных достижений в этом направлении служит мезотрион – один из ведущих системных гербицидов для кукурузы в мире. Препарат синтезирован из аллелохимического лептоспермона, который был выделен из растений семейства Миртовые: каллистемона лимонного (*Callistemon citrinus*, Curtis), эндемика Нового Южного Уэльса и Виктории в Австралии [28].

Аллелопатическая активность в полевых условиях часто связана с совместным действием смесей аллелохимических веществ, а не с одним из них. Например, J. Lydon с соавт. сообщили [29], что почва с добавлением чистого артемизинина менее ингибирует рост мари обыкновенной, чем почва с добавлением химически более сложного экстракта листьев однолетней полыни. Таким образом, ингибирующее действие однолетней полыни нельзя отнести исключительно к артемизинину. Айлантон, аллелопатически активное соединение айланты высочайшей (*Ailanthus altissima* L.), проявляет высокую гербицидную активность при распылении на почву до прорастания семян [24].

Существуют и другие органические гербициды, которые производятся из аллелопатического растительного сырья для подавления роста сорняков, например, на рисовых полях [30, 31]. Т. Ogata с соавт. создали гербицид, состоящий из смеси компонентов, извлеченных из сосны (*Pinus* L.), хиноки (*Chamaecyparis obtuse* Endl.) или японского кедра (*Cryptomeria japonica* D. Don) и древесного бамбукового уксуса, который является конкретным примером практического использования аллелопатии растений на рисовых полях [31].

Выполненный краткий анализ показывает важность проведения скрининга растений на выявление у них аллелопатической активности [32], в том числе путем оценки аллелопатической активности экстрактов, полученных из тканей инвазивных видов, как быстрого способа ее определения [17]. Учитывая большую перспективность исследований по созданию биопестицидов, в Институте экспериментальной ботаники НАН Беларуси проведена комплексная оценка влияния водных экстрактов, полученных из растительного сырья различных инвазивных видов растений.

Материалы и методы исследований. Объекты исследований – борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden), золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.), недотрога мелкоцветковая (*Impatiens parviflora* DC), недотрога железконосная (*Impatiens glandulifera* Royle), мелкопестичек канадский (*Coniza canadensis* (L.) Crong.), мелкопестичек однолетний (*Erigeron annuus* (L.) Pers. s.l.), эхиноцистис лопастной (*Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray), щавель конский (*Rumex confertus* Willd.).

Отбор растительных проб изучаемых видов и образцов почв проводили на разных фазах вегетации с последующей фиксацией материала до воздушно-сухого состояния. Основные пробы растений отобраны на следующих фазах развития: всходы или начало весенней вегетации (начало

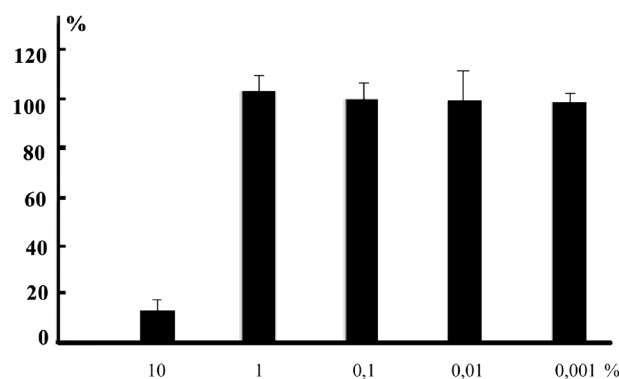


Рис. 1. Влияние водных экстрактов, полученных из сухой надземной биомассы растений борщевика Сосновского на длину проростков тест-культуры, (10; 1; 0,1; 0,01; 0,001 – % концентрации водных растворов)

Fig. 1. Effect of aqueous extracts obtained from dry aboveground biomass of Sosnowsky's hogweed plants on the length of test culture sprouts, % (10; 1; 0,1; 0,01; 0,001 % – concentrations of aqueous solutions)

отрастания растений), фаза интенсивного линейного роста, бутонизация, начало цветения, окончание цветения/начало образования семян, плодоношение, окончание вегетации.

Аллелопатическую активность определяли на основе изучения влияния водных экстрактов (настой, отвар) разных концентраций (10; 1; 0,1; 0,01; 0,001 %), полученных из сухой биомассы различных органов инвазивных видов, на прорастание и рост проростков тест-культур (кресс-салат обыкновенный, редис сорта Французский завтрак).

Оценку аллелопатического влияния водных экстрактов, полученных из различных органов (семена, стеблекорень, корневище, корни, листовые пластинки, черешки, соцветия) модельных инвазивных видов и их сородичей (на разных этапах онтогенеза) на энергию прорастания, всхожесть и на линейный рост анализируе-

мых тест-культур проводили согласно ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

Результаты и их обсуждение. Проведенные исследования показали, что среди большого спектра изученных инвазивных видов растения борщевика Сосновского обладают самым сильным аллелопатическим влиянием на рост проростков тест-культур.

Установлено, что в изученном интервале концентраций водных экстрактов (0,001–10 %), полученных из сухой надземной биомассы борщевика Сосновского, самая высокая (10 %) в 7,7 раза угнетает рост проростков редиса посевного (13 % относительно контроля) (рис. 1).

Большая аллелопатическая активность характерна и для другого злостного инвазивного вида – золотарника канадского. Наиболее сильное ингибирующее влияние оказывает 10%-й водный экстракт, полученный из его листьев (39,8 % в сравнении с контролем) (рис. 2, а). В то время

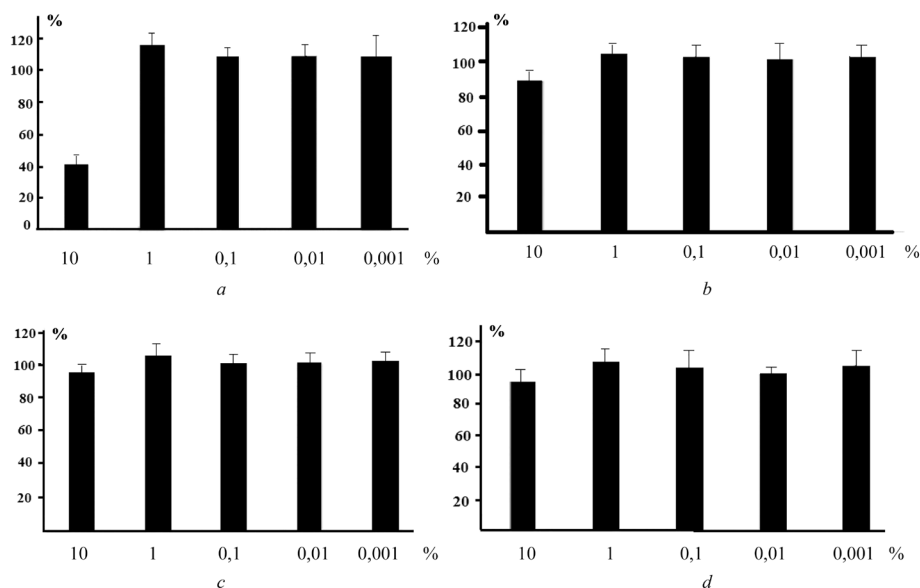


Рис. 2. Влияние водных экстрактов различных концентраций, полученных из листьев (а), корневищ (b), корней (c) и стеблей (d) золотарника канадского, на длину проростков тест-культуры (условные обозначения – на рис. 1)

Fig. 2. Effect of different concentrations of aqueous extracts obtained from leaves (a), rhizomes (b), roots (c) and stems (d) of Canadian goldenrod on the length of test culture sprouts. For legend, see Fig. 1

как значение данного показателя после воздействия 10%-го водного экстракта, полученного из стеблей (рис. 2, *d*), составило только 95,5 %, из корневищ (рис. 2, *b*) – 86,9 %, из корней (рис. 2, *c*) – 93,9 %.

Водные экстракты низкой концентрации, полученные из различных органов золотарника канадского, оказывают небольшое стимулирующее влияние на рост проростков тест-культур в пределах от 102 до 114,5 % в сравнении с контролем.

Аллелопатическая активность водных экстрактов из надземной биомассы недотроги мелкоцветковой и недотроги железконосной также была очень высокой, но ниже, чем у растений борщевика Сосновского и золотарника канадского (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Влияние водных экстрактов различной концентрации, полученных из сухой надземной биомассы различных видов из рода Недотрога на длину корней и побегов тест-культуры (в % к контролю)

Table 1. Effect of concentrations of extracts obtained from dry above-ground biomass of various species from the genus Touch-me-not on the length of roots and shoots of the test culture (in % of the control)

Вид растения	Концентрация водного экстракта, %				
	10	1	0,1	0,01	0,001
	Корни				
Недотрога мелкоцветковая	47,0	103,4	111,1	108,8	112,1
Недотрога железконосная	55,3	105,9	104,0	112,1	106,6
	Побеги				
Недотрога мелкоцветковая	51,0	118,7	93,6	92,9	101,9
Недотрога железконосная	81,3	119,4	99,7	90,9	95,0

Максимальное ингибирующее влияние на линейные размеры как корней, так и побегов тест-культуры оказывает 10%-й экстракт из надземной биомассы недотроги мелкоцветковой (длина корней и побегов по сравнению с контролем составила только 47,0 и 51,0 % соответственно). Наименее выражено было влияние экстракта из растений недотроги железконосной (55,3 и 81,3 % соответственно). Следует подчеркнуть, что водные экстракты высокой (10%-й) концентрации из всех видов недотрог значительно сильнее ингибировали рост корней, чем побегов. Отмечено существенное повышение как длины побегов (от 118,7 до 123,2 %), так и длины корней (от 103,4 до 109,3 %) при более низкой (1%-й) концентрации. При этом экстракты с концентрацией от 1 до 0,001 % оказывали более высокий стимулирующий эффект на линейные размеры корней, чем побегов.

Для водных экстрактов, полученных из надземной части растений из рода Мелколепестник, также характерна высокая аллелопатическая активность (табл. 2). Установлено, что водные экстракты высокой (10%-й) концентрации, полученные из надземной биомассы изученных видов мелколепестника, оказывают сильное ингибирующее действие на рост проростков тест-культур (редис посевной). Экстракты низкой концентрации (от 0,001 до 0,1 %) не оказывают достоверного влияния на рост проростков редиса посевного. Такие же закономерности отмечаются и на проростках другой тест-культуры – кресс-салата.

Наиболее сильное аллелопатическое влияние оказывает мелколепестник однолетний, что хорошо согласуется с проявлением его высокой инвазивной активности на территории Беларуси в последние годы. Близкие значения аллелопатической активности имеют водные экстракты из растений мелколепестника канадского, который тоже является злостным инвазивным видом.

Изучение аллелопатической активности эхиноцистиса лопастного показало, что водный экстракт высокой (10%-й) концентрации, полученный из его надземной биомассы, существенно тормозит линейный рост проростков тест-культур (34,6 % в сравнении с контролем), а экстракты более низких (1–0,001 %) концентраций практически не оказывают достоверного влияния на этот показатель у кресс-салата (94,6–106,0 %).

Таблица 2. Влияние водных экстрактов из растений рода *Мелколепестник* различных концентраций на длину проростков и корней тест-культуры, %Table 2. Effect of different concentrations of aqueous extracts from plants of the genus *Melilotus* on the length of seedlings and roots of the test culture, %

Орган растения	Концентрация водного экстракта, %		
	10	1	0,001
Мелколепестник однолетний			
Корни	38,8	78,8	110,1
Побег	39,4	81,2	99,4
Мелколепестничек канадский			
Корни	49,3	91,5	100,4
Побег	50,1	95,7	100,4

Конский щавель также обладает высокой аллелопатической активностью. Установлено, что водный экстракт из его листьев высокой (10%-й) концентрации оказывает сильное ингибирующее влияние на рост проростков тест-культур (рис. 3, *a*). Это проявляется в снижении линейных размеров растений тест-культуры в 2,5 и более раза в сравнении с контролем. Экстракты с концентрацией от 0,1 до 1 %, наоборот, оказывают небольшое положительное действие на активность ростовых процессов (102,1–104,4 %). При дальнейшем уменьшении концентрации водных экстрактов до 0,01–0,001 % достоверных различий с контролем не обнаружено (длина проростков составила 99,3–99,9 % в сравнении с контролем).

Водные экстракты высокой концентрации из корневищ щавеля конского также оказывают сильное ингибирующее действие на тест-культуру (рис. 3, *b*). В этом варианте отмечено уменьшение линейного роста в 2 раза (50,1 % в сравнении с контролем).

Для оценки биогербицидной активности водных экстрактов, полученных из различных органов борщевика Сосновского, изучено их влияние на проростки злостного сорняка – пырея ползучего (*Elymus repens*). Результаты исследований показали высокую биогербицидную активность (рис. 4). Так, длина проростков, развивающихся из почек корневищ пырея ползучего, под влиянием обработки уменьшалась в сравнении с контролем на 30,5 % (экстракт из листьев), 23,7 % (экстракт из черешков), 29,5 % (экстракт из стеблекорня) и 15 % (экстракт из семян).

Полученные результаты указывают на перспективность использования растений борщевика Сосновского для создания экологически безопасных биопестицидов. Так, проведенные совместные исследования с зарубежными научными учреждениями (Езинский сельскохозяйственный университет (Мьянма), Вагенингенский университет и научно-исследовательский центр (Нидерланды), Токийский университет сельского хозяйства и технологий (Япония), Фармацевтический

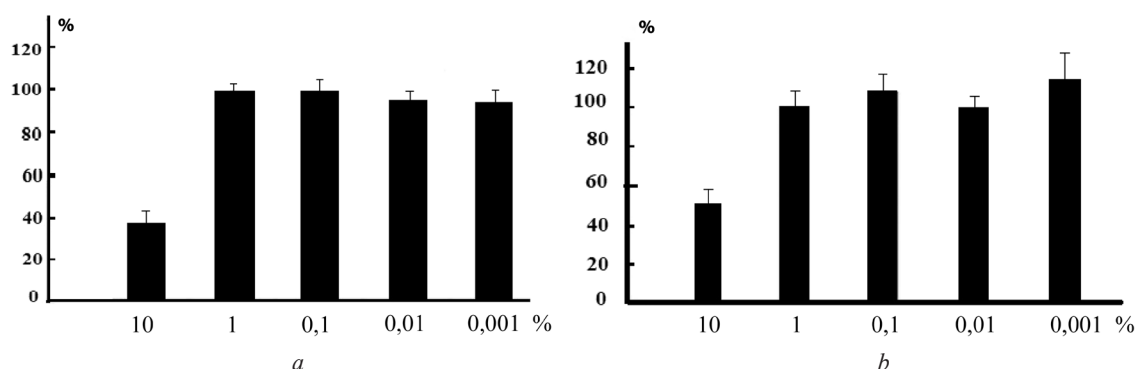
Рис. 3. Влияние водного экстракта из сухой биомассы листьев (*a*) и корневищ (*b*) щавеля конского на длину проростков тест-культуры (условные обозначения – на рис. 1)

Fig. 3. Effect of aqueous extract from dry biomass of leaves (*a*) and rhizomes of horse sorrel on the length of test culture sprouts. For legend, see Fig. 1

университет Showa (Япония)) по оценке противогрибковой активности летучих соединений из плодов, листьев, корневищ и корней 109 видов растений в отношении 2 рас возбудителя увядания томатов (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) выявили очень высокую фунгицидную активность борщевика Сосновского [33]. Установлено, что летучие соединения, выделенные из 88 образцов растений, оказывали ингибирующее влияние на рост мицелия в диапазоне от 2 до 67 %. Наиболее сильное ингибирование (67 %) наблюдалось для летучих соединений из плодов *H. sosnowskyi*, за ними следовали летучие соединения листьев *Matteuccia struthiopteris* (18 %) и корневищ *Houttuynia cordata* (15 %) [33].

Большое внимание уделяется комбинированному применению уменьшенных доз синтетических пестицидов и аллелопатических экстрактов, в результате смешивания которых проявляется эффект синергизма.

Так, например, эффективность сорголеона (аллелопатически активного соединения, получаемого из растений сорго двуцветного) возрастает при комплексном воздействии в сочетании с боронованием и применением сниженных доз гербицидов [34].

Очень важно, что токсичность этих соединений может быть более сильной при использовании в смесях, а активность смеси будет выше, чем можно было бы ожидать путем суммирования деятельности ее отдельных компонентов. Механизмы такого синергизма неизвестны, но, предположительно, могут включать в себя способность одного из компонентов смеси ингибировать детоксикацию другого или улучшать поглощение других компонентов растением-реципиентом [34]. Так, исследования, проведенные J. Zhou, Z. Xu со смесью экстрактов двух инвазивных видов растений, выявили антагонистическое действие по сравнению с эффектами экстрактов отдельного вида. Кроме того, добавление азота усиливало эффект ингибирования процессов прорастания семян и начальных этапов роста тест-культуры [35].

И наоборот, в смесях экстрактов может наблюдаться стимулирующий эффект. Так, в работах китайских ученых проанализировано сочетанное влияние смешанных экстрактов, полученных из растений золотарника канадского (*S. canadensis*) и мелколепестника канадского (*C. canadensis*) на рост проростков сои. Установлено, что наземная биомасса проростков сои после обработки смешанными экстрактами была значительно выше, чем при обработке только экстрактами из листьев *S. canadensis* [36]. Это указывает на перспективность исследований в данном направлении.

Заключение. Аллелопатические соединения обнаруживаются практически во всех органах растений (корнях, стеблях, цветках, листьях), однако разные части одного и того же растения могут различаться по силе аллелопатического эффекта. Наиболее активными в большинстве случаев являются водные экстракты, полученные из листьев, более слабыми – из стеблей, корней, плодов, семян.

Эффект водных экстрактов растений на рост тест-культур зависит как от вида растения, так и от концентрации водной вытяжки.

Экстракты, полученные из различных органов инвазивных видов растений, в основном оказывают ингибирующее действие на энергию прорастания, всхожесть и рост проростков тест-культур. Интенсивность ингибирования возрастает с увеличением концентрации экстракта, с уменьшением концентрации – снижается и имеет тенденцию к стимулированию процессов прорастания тест-культур. Аллелопатия оказывает меньшее отрицательное влияние на процессы прорастания (всхожесть и энергию прорастания семян), чем на рост проростков и особенно на рост корней.

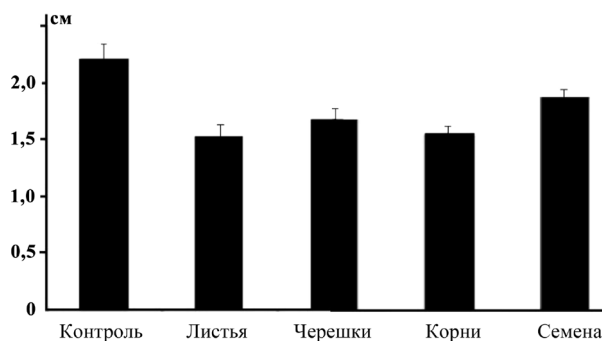


Рис. 4. Влияние водных экстрактов, полученных из различных органов борщевика Сосновского, на длину проростков пырея ползучего

Fig. 4. Effect of aqueous extracts obtained from various organs of Sosnowsky's hogweed on the length of creeping wheatgrass sprouts

Изменяя концентрацию водных экстрактов, полученных из инвазивных видов растений, и тип растительного сырья (корневище, корни, стеблекорень, стебель, листья, соцветия, семена), можно формировать биологически активные препараты с заданными свойствами (ингибирующие, стимулирующие).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Kareiva, P. M. Conservation science: balancing the needs of people and nature / P. M. Kareiva, M. Marvier. – Colorado, USA: Roberts and Company Publishers, 2017. – 672 p.
2. Verlaque, M. Biological invasion: Long term monitoring of the macroalgal flora of a major European harbor complex / M. Verlaque, G. Breton // Marine Pollution Bulletin. – 2019. – Vol. 143. – P. 228–241. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.038>
3. Виноградова, Ю. К. / Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах средней России / Ю. К. Виноградова, С. Р. Майоров, Л. В. Хорун. – М.: ГЕОС, 2010. – 512 с.
4. McDowell, W. G. High abundance of an invasive species gives it an outsized ecological role / W. G. McDowell, J. E. Byers // Freshwater Biology. – 2019. – Vol. 64, N 3. – P. 577–586. <https://doi.org/10.1111/fwb.13243>
5. Bertram, G. The impact of exotic pests on the New Zealand economy / G. Bertram // Pests & weeds: a blueprint for action / G. Bertram, K. Hackwell. – New Zealand, 1999. – P. 45–71.
6. High and rising economic costs of biological invasions worldwide / C. Diagne, B. Leroy, A.-Ch. Vaissière [et al.] // Nature. – 2021. – Vol. 592. – P. 571–576. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6>
7. Blossey, B. Evolution of increased competitive ability in invasive non-indigenous plants: a hypothesis / B. Blossey, R. Nötzold // The Journal of Ecology. – 1995. – Vol. 83, N 5. – P. 887–889. <https://doi.org/10.2307/2261425>
8. Гродзинский, А. М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ: основы химического взаимодействия растений / А. М. Гродзинский. – Киев: Наукова думка, 1965. – 200 с.
9. Elton, C. S. The ecology of invasions by plants and animals / C. S. Elton. – London: Methuen, 1958. – 181 p.
10. Inderjit. Can plant biochemistry contribute to understanding of invasion ecology? / Inderjit, R. M. Callaway, J. M. Vivanco // Trends in Plant Science. – 2006. – Vol. 11, N 12. – P. 574–580. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.10.004>
11. Hierro, J. L. Allelopathy and exotic plant invasion / J. L. Hierro, R. M. Callaway // Plant and Soil. – 2003. – Vol. 256, N 1. – P. 29–39. <https://doi.org/10.1023/a:1026208327014>
12. Secondary metabolites from the invasive *Solidago canadensis* L. accumulation in soil and contribution to inhibition of soil pathogen *Pythium ultimum* / S. Zhang, W. Zhu, B. Wang [et al.] // Applied Soil Ecology. – 2011. – Vol. 48, N 3. – P. 280–286. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.04.011>
13. Glinwood, R. Chemical interaction between undamaged plants – Effects on herbivores and natural enemies / R. Glinwood, V. Ninkovic, J. Pettersson // Phytochemistry. – 2011. – Vol. 72, N 13. – P. 1683–1689. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.02.010>
14. Cheng, F. Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy / F. Cheng, Z. Cheng // Frontiers in Plant Science. – 2015. – Vol. 6. – Art. 1020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>
15. Delcour, I. Literature review: Impact of climate change on pesticide use / I. Delcour, P. Spanoghe, M. Uyttendaele // Food Research International. – 2015. – Vol. 68. – P. 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.030>
16. Araniti, F. Phytotoxic activity and phytochemical characterization of *Lotus ornithopodioides* L., a spontaneous species of Mediterranean area / F. Araniti, F. Sunseri, M. R. Abenavoli // Phytochemistry Letters. – 2014. – Vol. 8. – P. 179–183. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2013.08.019>
17. Allelopathic effects of invasive *Solidago canadensis* L. on germination and growth of native Chinese plant species / R. Y. Yang, L. X. Mei, J. J. Tang, X. Chen // Allelopathy Journal. – 2007. – Vol. 19, N 1. – P. 241–248.
18. Rice, E. L. Allelopathy / E. L. Rice. – New York: Academic press, 1984. – 422 p.
19. Kakati, B. A. Allelopathic effect of aqueous extract of some medicinal plants on seed germination and seedling length of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek.) / B. A. Kakati, Y. B. Baruah // Indian Journal of Plant Sciences. – 2013. – Vol. 2, N 3. – P. 8–11.
20. Кондратьев, М. Н. Вторичные соединения лекарственных растений как потенциальная основа для создания биогербицидов / М. Н. Кондратьев, Ю. С. Ларинова, А. Н. Давыдова // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2017. – Т. 20, № 5. – С. 36–40.
21. Javaid, A. Allelopathy for the management of phytopathogens / A. Javaid, A. Shoaib // Allelopathy: current trends and future applications / eds.: Cheema Z. A., Farooq M., Wahid A. – Berlin, 2013. – P. 299–319.
22. Телитченко, М. М. Введение в проблемы биохимической экологии: биотехнология, сельское хозяйство, охрана среды / М. М. Телитченко, С. А. Остроумов. – М.: Наука, 1990. – 288 с.
23. Langenheim, J. H. Higher plant terpenoids: A phytocentric overview of their ecological roles / J. H. Langenheim // Journal of Chemical Ecology. – 1994. – Vol. 20, N 6. – P. 1223–1280. <https://doi.org/10.1007/bf02059809>
24. Bhowmik, P. C. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management / P. C. Bhowmik // Crop Protection. – 2003. – Vol. 22, N 4. – P. 661–671. [https://doi.org/10.1016/s0261-2194\(02\)00242-9](https://doi.org/10.1016/s0261-2194(02)00242-9)
25. Herbicidal Activity and Site of Action of the Natural Product Sorgoleone / Ch. I. Nimbal, C. N. Yerkes, L. A. Weston, S. C. Weller // Pesticide Biochemistry and Physiology. – 1996. – Vol. 54, N 1. – P. 73–83. <https://doi.org/10.1006/pest.1996.0011>

26. Cheema, Z. A. Use of sorghum alleopathic properties to control weeds in irrigated wheat in a semiarid region of Punjab / Z. A. Cheema, A. Khalig // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2000. – Vol. 79, N 2–3. – P. 105–112. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00140-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00140-1)
27. Biorational agriculture: herbicidal activity of sorghum extract in control of *Cyperus rotundus* L. / F. S. Matos, B. N. Furtado, M. R. dos Santos [et al.] // *Magistra*. – 2021. – Vol. 31. – P. 675–682.
28. Cornes, D. Callisto: a very successful maize herbicide inspired by allelochemistry / D. Cornes // *Proceedings of the 4th World Congress on Allelopathy: Establishing the Scientific Base, Wagga Wagga, New South Wales, Australia, 21–26 August 2005* / eds.: H. John [et al.]. – Australia, 2005. – P. 569–572.
29. Lydon, J. Allelopathic activity of annual wormwood (*Artemisia annua*) and the role of artemisinin / J. Lydon, J. R. Teasdale, P. K. Chen // *Weed Science*. – 1997. – Vol. 45, N 6. – P. 807–811. <https://doi.org/10.1017/S0043174500089001>
30. European patent N 1110456A1. Herbicidal composition comprising an allelopathic substance and method of use thereof / M. Guillon. – Nogueres, France: European Patent Office, 2003.
31. Japan patent N 2008050329. Organic Herbicide for Paddy Field / T. Ogata, M. Hamachi, K. Nishi. – Tokyo: Japan Patent Office, 2008.
32. Screening of 239 medicinal plant species for allelopathic activity using the sandwich method / Y. Fujii, S. Sh. Parvez, M. M. Parvez [et al.] // *Weed Biology and Management*. – 2003. – Vol. 3, N 4. – P. 233–241. <https://doi.org/10.1046/j.1444-6162.2003.00111.x>
33. Potential of octanol and octanal from *Heracleum sosnowskyi* fruits for the control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* / M. K. Hpoo, M. Mishyna, V. Prokhorov [et al.] // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12, N 22. – Art. 9334. <https://doi.org/10.3390/su12229334>
34. Скороходова, А. Н. Аллелопатический эффект лекарственных растений на сорняки: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.01.05 / Скороходова Анастасия Николаевна; Рос. гос. аграрный ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева. – Москва, 2019. – 23 с.
35. Nitrogen influence to the independent invasion and the Co-invasion of *Solidago canadensis* and *Conyza canadensis* via intensified allelopathy / J. Zhou, Zh. Xu, Sh. Zhong [et al.] // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14, N 9. – Art. 11970. <https://doi.org/10.3390/su141911970>
36. Effect of essential oil of *Solidago canadensis* L. on the quality and physiology of postharvest strawberry fruits / S. Liu, X. Hao, Y. Ei [et al.] // *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*. – 2016. – Vol. 30, N 10. – P. 1967–1975. <https://doi.org/10.11869/j.issn.100-8551.2016.10.1967>

References

1. Kareiva P. M., Marvier M. *Conservation science: balancing the needs of people and nature*. Colorado, USA, Roberts and Company Publishers, 2017. 672 p.
2. Verlaque M., Breton G. Biological invasion: Long term monitoring of the macroalgal flora of a major European harbor complex. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, vol. 143, pp. 228–241. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.038>
3. Vinogradova Yu. K., Maiorov S. R., Khorun L. V. *Black Book of Flora of Central Russia: Alien Plant Species in Ecosystems of Central Russia*. Moscow, GEOS Publ., 2010. 512 p. (in Russian).
4. McDowell W. G., Byers J. E. High abundance of an invasive species gives it an outsized ecological role. *Freshwater Biology*, 2019, vol. 64, no. 3, pp. 577–586. <https://doi.org/10.1111/fwb.13243>
5. Bertram, G. The impact of exotic pests on the New Zealand economy. *Pests & weeds: a blueprint for action*. New Zealand, 1999, pp. 45–71.
6. Diagne C., Leroy B., Vaissière A.-Ch., Gozlan R. E., Roiz D., Jarić I., Salles J.-M., Bradshaw C. J. A., Courchamp F. High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature*, 2021, vol. 592, pp. 571–576. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6>
7. Blossey B., Nötzold R. Evolution of increased competitive ability in invasive non-indigenous plants: a hypothesis. *The Journal of Ecology*, 1995, vol. 83, no. 5, pp. 887–889. <https://doi.org/10.2307/2261425>
8. Grodzinski A. M. *Allelopathy in the life of plants and their communities: the basics of chemical interaction of plants*. Kiev: Naukova Dumka Publ., 1965. 200 p. (in Russian).
9. Elton C. S. *The ecology of invasions by plants and animals*. London, Methuen, 1958. 181 p.
10. Inderjit, Callaway R. M., Vivanco J. M. Can plant biochemistry contribute to understanding of invasion ecology? *Trends in Plant Science*, 2006, vol. 11, no. 12, pp. 574–580. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.10.004>
11. Hierro J. L., Callaway R. M. Allelopathy and exotic plant invasion. *Plant and Soil*, 2003, vol. 256, no. 1, pp. 29–39. <https://doi.org/10.1023/a:1026208327014>
12. Zhang S., Zhu W., Wang B., Tang J., Chen X. Secondary metabolites from the invasive *Solidago canadensis* L. accumulation in soil and contribution to inhibition of soil pathogen *Pythium ultimum*. *Applied Soil Ecology*, 2011, vol. 48, no. 3, pp. 280–286. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.04.011>
13. Glinwood R., Ninkovic V., Pettersson J. Chemical interaction between undamaged plants – Effects on herbivores and natural enemies. *Phytochemistry*, 2011, vol. 72, no. 13, pp. 1683–1689. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.02.010>
14. Cheng F., Cheng Z. Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 2015, vol. 6, art. 1020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>
15. Delcour I., Spanoghe P., Uyttendaele M. Literature review: Impact of climate change on pesticide use. *Food Research International*, 2015, vol. 68, pp. 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.030>

16. Araniti F., Sunseri F., Abenavoli M. R. Phytotoxic activity and phytochemical characterization of *Lotus orithopoides* L., a spontaneous species of Mediterranean area. *Phytochemistry Letters*, 2014, vol. 8, pp. 179–183. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2013.08.019>
17. Yang R. Y., Mei L. X., Tang J. J., Chen X. Allelopathic effects of invasive *Solidago canadensis* L. on germination and growth of native Chinese plant species. *Allelopathy Journal*, 2007, vol. 19, no. 1, pp. 241–247.
18. Rice E. L. *Allelopathy*. New York, Academic press, 1984. 422 p.
19. Kakati B. A., Baruah Y. B. Allelopathic effect of aqueous extract of some medicinal plants on seed germination and seedling length of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek.). *Indian Journal of Plant Sciences*, 2013, vol. 2, no. 3, pp. 8–11.
20. Kondrat'ev M. N., Larikova Yu. S., Davydova A. N. Secondary compounds of medicinal plants as a potential basis for creating bioherbicides. *Voprosy biologicheskoi, meditsinskoi i farmatsevticheskoi khimii* [Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry]. 2017, vol. 20, no. 5, pp. 36–40 (in Russian).
21. Javaid A., Shoaib A. Allelopathy for the management of phytopathogens. *Allelopathy: current trends and future applications*. Berlin, 2013, pp. 299–319.
22. Telitchenko M. M., Ostroumov S. A. *Introduction to the problems of biochemical ecology: biotechnology, agriculture, environmental protection*. M.: Nauka Publ., 1990. 288 p. (in Russian).
23. Langenheim J. H. Higher plant terpenoids: A phytocentric overview of their ecological roles. *Journal of Chemical Ecology*, 1994, vol. 20, no. 6, pp. 1223–1280. <https://doi.org/10.1007/bf02059809>
24. Bhowmik P. C. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. *Crop Protection*, 2003, vol. 22, no. 4, pp. 661–671.
25. Nimbal Ch. I., Yerkes C. N., Weston L. A., Weller S. C. Herbicidal Activity and Site of Action of the Natural Product Sorgoleone. // *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 1996, vol. 54, no. 1, pp. 73–83. <https://doi.org/10.1006/pest.1996.0011>
26. Cheema Z. A., Khalig A. Use of sorghum allelopathic properties to control weeds in irrigated wheat in a semiarid region of Punjab. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, vol. 79, no. 1–2, pp. 105–112. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00140-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00140-1)
27. Matos F. S., Furtado B. N., dos Santos M. R., Amorim V. A., Borges L. P. Biorational agriculture: Herbicidal activity of sorghum extract in control of *Cyperus rotundus* L. *Magistra*, 2021, vol. 31, pp. 675–682.
28. Cornes D. Callisto: a very successful maize herbicide inspired by allelochemistry. *Proceedings of the 4th World Congress on Allelopathy: Establishing the Scientific Base, Wagga Wagga, New South Wales, Australia, 21–26 August 2005*. Australia, 2005, pp. 569–572.
29. Lydon J., Teasdale J. R., Chen P. K. Allelopathic activity of annual wormwood (*Artemisia annua*) and the role of artemisinin. *Weed Science*, 1997, vol. 45, no. 6, pp. 807–811. <https://doi.org/10.1017/S0043174500089001>
30. Guillon M. *Herbicidal composition comprising an allelopathic substance and method of use thereof*. European patent N 1110456A1. Noguères, France, European Patent Office, 2003.
31. Ogata T., Hamachi M., Nishi K. *Organic Herbicide for Paddy Field*. Japan patent N 2008050329. Tokyo, Japan Patent Office, 2008.
32. Fujii Y., Parvez S. Sh., Parvez M. M., Ohmae Y., Iida O. Screening of 239 medicinal plant species for allelopathic activity using the sandwich method. *Weed Biology and Management*, 2003, vol. 3, no. 4, pp. 233–241. <https://doi.org/10.1046/j.1444-6162.2003.00111.x>
33. Hpoo M. K., Mishyna M., Prokhorov V., Arie T., Takano A., Oikawa Y., Fujii Y. Potential of octanol and octanal from *Heracleum sosnowskyi* fruits for the control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no. 22, art. 9334. <https://doi.org/10.3390/su12229334>
34. Skorokhodova, A. N. *Allelopathic effect of medicinal plants on weeds*. Abstract of PhD thesis. M., 2019. 23 p. (in Russian).
35. Zhou J., Xu Zh., Zhong Sh., Yu Y., Xu Zh., Du D., Wang C. Nitrogen influence to the independent invasion and the Co-invasion of *Solidago canadensis* and *Conyza canadensis* via intensified allelopathy. *Sustainability*, 2022, vol. 14, no. 19, art. 11970. <https://doi.org/10.3390/su141911970>
36. Liu S., Hao X., Ei Y., U Ch., Ao J. Effect of essential oil of *Solidago canadensis* L. on the quality and physiology of postharvest berry fruits. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2016, vol. 30, no. 10, pp. 1967–1975. <https://doi.org/10.11869/j.issn.100-8551.2016.10.1967>

Информация об авторе

Прохоров Валерий Николаевич – член-корреспондент, д-р биол. наук, профессор, главный научный сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: prohoroff1960@mail.ru

Information about the author

Valery N. Prokhorov – Corresponding Member, D. Sc. (Biol.), Professor, Chief Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: prohoroff1960@mail.ru