

УДК 581.524.1:581.142+581.524.2

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЛИСТЬЕВ *ACER NEGUNDO* И *ROBINIA PSEUDOACACIA* НА ПРОРОСТКАХ ТЕСТ-КУЛЬТУР

М. Н. ЯХНОВЕЦ^{1,2)}, Е. О. ЮРЧЕНКО³⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Полесский государственный университет, ул. Днепровской флотилии, 23, 225710, г. Пинск, Беларусь

³⁾Белостокский политехнический университет, ул. Сельская, 45А, 15-351, г. Белосток, Польша

Клен ясенелистный и робиния лжеакация выступают как наиболее проблемные древесные инвазионные виды во флоре Беларуси. При механическом уничтожении данных растений рассматривается возможность использования их фитомассы в качестве мульчи в садоводстве и огородничестве. Для такого применения необходимо оценить негативные аллелопатические эффекты фитомассы на другие растения. В исследовании методом биотестирования оценивается действие комплекса неидентифицированных биологически активных веществ из *Acer negundo* и *Robinia pseudoacacia*. При этом учитывается процент проросших семян, длина корешка и гипокотилия у тест-объектов *Lepidium sativum*, *Raphanus sativus* и *Daucus carota* при инкубировании семян *in vitro* на фоне водных экстрактов из порошка зеленых листьев клена и робинии, при концентрациях экстракта в пересчете на сухую массу суспендированного порошка 5, 10, 50 и 100 г/л, с контролем на дистиллированной воде. Использована фитомасса в двух вариантах: высушенная на солнце и выдержанная под дождем с высушиванием на солнце до помещения под дождь. Результаты свидетельствуют, что клен ясенелистный обладает большей ингибирующей аллелопатической активностью (фитотоксичностью), чем робиния лжеакация. В частности, при концентрации 100 г/л вытяжка из листьев клена полностью подавляла прорастание семян кресс-салата, редиса и моркови, а вытяжка из листьев робинии оказывала нейтральный эффект (несущественно снижала всхожесть семян) в отношении редиса и моркови. Как правило, эффект ингибирования развития проростков по трем изученным параметрам увеличивается с повышением концентрации вытяжки. Исключение составляет удлинение корешков проростков моркови, которое слегка стимулировалось вытяжкой из клена 10 г/л и робинии 50 г/л. Заготовленная фитомасса *A. negundo* и *R. pseudoacacia* под воздействием дождя частично теряет свои ингибирующие аллелопатические свойства. Например, фитомасса *A. negundo* проявляет после такой экспозиции (при концентрации экстракта 10 г/л) в 2,3 раза меньший эффект замедления роста корешков у кресс-салата. В отдельных случаях вытяжки (фитомасса, выдержанная под дождем) имеют стимулирующий эффект на развитие проростков: экстракт из клена 5 г/л повышал всхожесть семян моркови на 25 %; экстракт из робинии 5 г/л вызывал удлинение корешка у проростков моркови в 1,9 раза; экстракты из робинии 5–50 г/л вызывали удлинение гипокотилия у кресс-салата в 1,3–1,4 раза. Тест-объекты показали разную чувствительность к одинаковым экстрактам. В частности, экстракт из робинии 100 г/л снижал всхожесть семян кресс-салата до 3,8 %, а моркови – до 89,3 %. Экстракт из листьев робинии, выдержанных под дождем, уменьшал среднюю длину корешка у кресс-салата – в 4,5 раза, а у редиса – в 1,5 раза.

Ключевые слова: аллелопатия; биотестирование; инвазионные виды; овощные культуры; водный экстракт; древесные сорняки.

Благодарность. Авторы выражают признательность работникам Болотной станции Полесская за предоставленные данные метеонаблюдений.

Образец цитирования:

Яхновец МН, Юрченко ЕО. Оценка биологической активности экстрактов из листьев *Acer negundo* и *Robinia pseudoacacia* на проростках тест-культур. Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2023;1:20–31.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-1-20-31>

For citation:

Yakhnovets MN, Yurchenko EO. Evaluation of the biological activity of the extracts from *Acer negundo* and *Robinia pseudoacacia* leaves on germinating seeds of test cultures. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2023;1:20–31. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-1-20-31>

Авторы:

Максим Николаевич Яхновец – аспирант кафедры общей биологии и генетики¹⁾; преподаватель-стажер кафедры ландшафтного проектирования²⁾.
Евгений Олегович Юрченко – доцент кафедры лесопользования и лесоразведения.

Authors:

Maksim N. Yakhnovets, postgraduate student at the department of general biology and genetics^a; trainee teacher at the department of landscape design^b.
maksim.yakhnovets@gmail.com
Eugene O. Yurchenko, associate professor at the department of silviculture and forest utilization.
yauheni.yurchanka@pb.edu.pl

EVALUATION OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE EXTRACTS FROM *ACER NEGUNDO* AND *ROBINIA PSEUDOACACIA* LEAVES ON GERMINATING SEEDS OF TEST CULTURES

M. N. YAKHNOVETS^{a,b}, E. O. YURCHENKO^c

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

^bPolessky State University,

23 Dniaproŭskay flatsilii Street, Pinsk 225710, Belarus

^cBiałystok University of Technology, 45A Wiejska Street,
Białystok 15-351, Poland

Corresponding author: M. Yakhnovets (maksim.yakhnovets@gmail.com)

Ash-leaved maple and black locust belong to the most actively spreading woody invasive species in flora of Belarus. In process of control of these plants by mechanical destruction, a potential use of their phytomass as mulch in gardening is considered. For such usage, the negative allelopathic effect of the phytomass on other plants should be assessed. In the paper the effects of the complex of unidentified biologically active substances from *Acer negundo* and *Robinia pseudoacacia* are studied. This is achieved by a method of biotesting: seeds of *Lepidium sativum*, *Raphanus sativus*, and *Daucus carota* were incubated *in vitro* with water extracts from green leaves of *Acer negundo* and *Robinia pseudoacacia*, grounded into powder before extraction. The percent of germinated seeds, length of main root, and length of hypocotylus were recorded. The experimental concentrations of phytomass for extracts were 5, 10, 50, and 100 g/l; distilled water was in control. Two variants of phytomass were tested: green leaves, dried on sun, and green leaves, exposed to rain, but dried on sun before such exposing. The results show that *A. negundo* has higher allelopathic (phytotoxic) activity, than *R. pseudoacacia*. In particular, extract from maple (100 g/l) completely suppressed seed germination of all three test plants, whereas extract from black locust (100 g/l) had statistically neutral effect (slightly decreased the percent of germinated seeds) on radish and carrot. As a rule, the inhibitory effect on all three studied parameters of germlings become higher along with increase of extract concentration. Exceptions were the growth of main root in carrot, which was slightly stimulated by extracts from maple (10 g/l) and black locust (50 g/l). The leaf mass of both species after exposing to rain partly lost its inhibitory allelopathic activity. The phytomass of *A. negundo* after such exposition demonstrated 2.3 times less inhibition effect on growth of roots in watercress (extract 10 g/l). In some cases the phytomass, exposed to rain, had stimulating action on germlings: extract from maple (5 g/l) increased the percentage of germinated seeds in carrot on 25 %; extract from black locust (5 g/l) provoked 1.9 times elongation of root in carrot in comparison with control; extracts from black locust (5–50 g/l) stimulated 1.3–1.4 times elongation of hypocotylus in watercress. Test plants showed different sensitivity to the same extracts. In particular, black locust extract (100 g/l) decreased the number of germinated seeds for watercress to 3.8 %, but only to 89.3 % for carrot. Black locust extract (leaves, exposed to rain, 100 g/l) decreased the average root length in watercress in 4.5 times, but in radish – in 1.5 times.

Keywords: allelopathy; biotesting; invasive species; vegetable cultures; water extract; wooden weeds.

Acknowledgments. The authors expresses his gratitude to the staff of the Poleskaya Wetland Station for providing meteorological observation data.

Введение

Инвазия, или массовое распространение отдельных чужеродных видов растений в экосистемах – это одна из глобальных экологических проблем современности, которая характерна также и для территории Беларуси. Большой интерес для изучения представляет инвазия древесных видов, которая обусловлена их биологическими особенностями и жизненными стратегиями. В Республике Беларусь из инвазионных видов древесной флоры в наибольшей степени проявляют себя клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) и робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.), которые признаны законодательно видами, запрещенными к интродукции и (или) акклиматизации (в соответствии с Постановлением Минприроды РБ № 35 от 28.10.2016 г. и Постановлением Совета Министров РБ № 1002 от 07.12.2016 г.). По сравнению с инвазионными видами травянистых жизненных форм, древесные виды характеризуются значительной силой воздействия на окружающие растения через фитогенное поле и высокими темпами накопления фитомассы за один вегетационный сезон.

Клен ясенелистный, американский – это листопадное дерево семейства Sapindaceae, происходит из Северной Америки. Вид появился в Беларуси в XIX в., стал активно использоваться в культуре. Во второй половине XX в. начал активно дичать и проявлять признаки инвазии. На данный момент *A. negundo* часто встречается по всей территории Беларуси. В Государственном кадастре растительного мира учтено 4271 место его произрастания на общей площади 351 га [1–4]. Вид относится к быстрорастущим деревьям, активно распространяется спонтанно через самосев. В Беларуси *A. negundo* в особенности натурализовался

в полустественные лесные и опушечные сообщества. Растение обладает сильными аллелопатическими свойствами. Физиологически активные вещества, содержащиеся в опавшей листве, действуют как ингибиторы роста конкурирующих растений [1; 2]. Американский клен не обладает высокими показателями хозяйственного значения [5], в частности, дает малоценную древесину, которая редко используется.

Робиния лжеакация – это крупное листопадное дерево семейства Fabaceae, происходящее из Северной Америки. Вид появился на территории Беларуси в конце XVIII в. в качестве декоративной и медоносной культуры. Но спустя время он начал проявлять ярко выраженные признаки экспансии. На сегодняшний день вид относится к числу наиболее распространенных древесных интродуцентов в Беларуси, отмечен в 105 административных районах страны, где выявлено 1681 его местонахождение на общей площади 495 га [1–4]. Успешная экспансия *R. pseudoacacia* объясняется биологическими особенностями вида, дающими повышенную конкурентоспособность: растение обладает хорошо развитой корневой системой с аппаратом азотфиксации, продуцирует большое количество семян с высокой жизнеспособностью (семена могут сохранять всхожесть до 50 лет), характеризуется быстрым ростом, интенсивным вегетативным возобновлением, повышенной экологической пластичностью [1; 2]. Но в отличие от многих инвазионных растений, *R. pseudoacacia* имеет довольно высокий потенциал для хозяйственного применения [5; 6]. Отмечается возможность использования вида в качестве декоративного, пищевого, кормового, медоносного, технического, лекарственного и фитомелиоративного растения [1].

Известно, что при значительном распространении инвазионного вида его полное уничтожение невозможно, возможен только контроль (сдерживание) расширения существующих и появления новых популяций. В ходе вырубki этих растений возникает проблема утилизации надземных частей. При этом существует путь использования измельченной фитомассы в качестве мульчи и компоста в садоводстве и огородничестве, что позволит извлечь выгоду из проблемы древесных фитоинвазий. Однако для данных видов не изучена полностью ценность и безопасность их биомассы (мульчи) в отношении культурных растений.

Цель исследования – установление влияния водных вытяжек из зеленой заготовленной листовой фитомассы *A. negundo* и *R. pseudoacacia*, побывавшей под воздействием солнца и дождя, на развитие других растений на модели проростков тест-культур *in vitro*, оценка фитотоксичности в контексте возможного использования данной фитомассы для мульчирования почвы под культурными растениями.

Ранее изучалось действие экстрактов из фитомассы *Acer negundo* [7–10] и *Robinia pseudoacacia* [8; 9; 11] на развитие проростков тест-культур, однако не сравнивались экстракты из растительной массы, подготовленной различными способами, в том числе выдержанной под дождем.

Материалы и методы исследования

Для оценки аллелопатической активности был выбран метод биотестирования вытяжек из растений *in vitro* [12–14] с модификациями. В качестве тест-объектов были выбраны кресс-салат обыкновенный (*Lepidium sativum* L.), редис (*Raphanus sativus* L.) сорта «Дуо», морковь посевная (*Daucus carota* L.). Первые два вида классически используются как тест-объекты [12; 15] и относятся к семейству Brassicaceae. Морковь была выбрана как культура, близкая к кресс-салату и редису по условиям выращивания согласно ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести», но при этом относящаяся к другому семейству – Apiaceae.

Заготовку листовой фитомассы *A. negundo* и *R. pseudoacacia* производили с живых растений в синантропных сообществах сельского поселения в условиях Белорусского Полесья (д. Теревень Пинского р-на Брестской обл.) летом – в начале осени 2021 г. Фитомассу подготавливали следующим образом: способ 1 – после сбора сушили на солнце; способ 2 – после сбора сушили на солнце, затем выдерживали в течение 4 суток под воздействием дождя (за этот период выпало около 22,5 мм осадков), после чего сушили в помещении при комнатной температуре. До экстрагирования готовая фитомасса хранилась также в помещении при комнатной температуре.

Лабораторные эксперименты проводились на базе отраслевой лаборатории ДНК и клеточных технологий в растениеводстве и животноводстве Полесского государственного университета в январе – марте 2022 г. Для приготовления вытяжки фитомассу измельчали до порошкообразного состояния в кофемолке. Порошок суспендировали в дистиллированной воде в четырех вариантах концентрации: 5, 10, 50 и 100 г/л и выдерживали в течение суток в термостате при +25 °С. Под «концентрацией вытяжки» далее условно понимается сухая масса порошка, помещаемого в воду перед экстракцией. Вытяжки фильтровали через марлю.

В чашки Петри с внутренним диаметром 90 мм помещался диск фильтровальной бумаги, на котором равномерно размещались семена тест-культур – по 10 шт. каждой культуры в одну чашку, в трехкратной повторности как для вариантов опыта, так и для контролей. Диски увлажнялись 5 мл экстракта из порошка *A. negundo* и *R. pseudoacacia*, а в контрольные чашки добавляли по 5 мл дистиллированной воды. Чашки инкубировали в термостате при температуре +25 °С. Таким образом, каждый вариант опыта с контролем включал 90 семян. Общее количество семян с учетом всех концентраций, тест-объектов, видов и типов фитомассы – 2160 шт.

Тестирование по определению всхожести семян проводилось согласно ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». При этом учитывался процент проросших семян, длина главного корня и гипокотила у тест-объектов. Подсчет количества проростков и их измерения для кресс-салата производили через 5 суток после начала инкубации, редиса – через 6, моркови – через 10. Количество проросших семян тест-объектов выражали в процентах к соответствующему количеству проростков в контроле, которое принимали за 100 %. Для статистической обработки результатов применялся t-критерий Стьюдента при сравнении средних величин [16]. Критические значения t-критерия Стьюдента определяли для уровня значимости $p < 0,05$. Для каждого среднего арифметического значения для выборок была определена относительная погрешность (5 %), которая была рассчитана в *Microsoft Excel* с помощью функции Предел погрешностей и показана в виде отрезков на столбчатых диаграммах ниже.

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние экстрактов на прорастание семян. Нами было отмечено, что в большинстве случаев всхожесть семян тест-культур в контроле не составляла 100 %. По этой причине в качестве поправки количество проросших семян в вариантах опыта выражали в процентах к контролю. С учетом достоверности различий между средними (различия принимаются как статистически значимые при $p < 0,05$) и типом влияния на развитие проростков на диаграммах ниже используются следующие условные обозначения: в случае ингибирования значения выделены красным цветом, в случае стимулирования – зеленым цветом, при несущественном ингибирующем или стимулирующем действии (нейтральный эффект) – черным цветом.

Экстракты из фитомассы *A. negundo*, подготовленной способом 1, то есть не находившейся под дождем, обладают сильной аллелопатической активностью при высоких концентрациях (рис. 1). При концентрациях 5 и 10 г/л влияние экстрактов нейтрально, за исключением кресс-салата, где при концентрации 5 г/л наблюдается легкий ингибирующий эффект (75 % проросших семян относительно контроля). При концентрации 50 г/л эффект ингибирования становится более ярко выраженным, в особенности в отношении моркови (полное подавление прорастания). У кресс-салата при данной концентрации проросло 7,7 % семян, у редиса – 46,7 %. При концентрации 100 г/л наблюдается полное ингибирование прорастания семян.

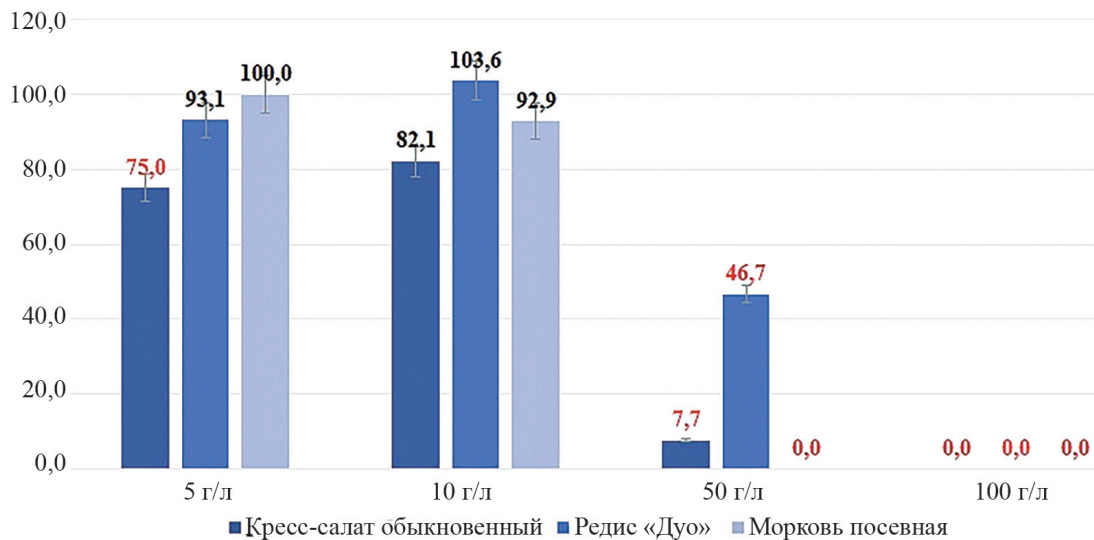


Рис. 1. Процент проросших семян тест-объектов под воздействием различных концентраций экстракта из фитомассы *A. negundo*, не находившейся под дождем

Fig. 1. The percentage of germinated seeds of test objects under the influence of various concentrations of the extract from *A. negundo* phytomass that was not exposed to rain

Экстракты из фитомассы клена, приготовленной способом 2, то есть выдержанной под воздействием атмосферных осадков, подобно предыдущим обладают сильной аллелопатической активностью при концентрациях 50 и 100 г/л (рис. 2). При концентрации 5 г/л экстракт нейтрален для кресс-салата, немного ингибирует прорастание редиса (80 %) и оказывает стимулирующий эффект на морковь (125 %). Действие экстракта 10 г/л было нейтральным для всех тест-культур. При концентрации 50 г/л не проросли кресс-салат и морковь, а семена редиса проросли на 50 % от контроля. При 100 г/л наблюдается полное ингибирование прорастания кресс-салата и моркови, незначительно прорастают семена редиса.

Экстракты из фитомассы *R. pseudoacacia*, подготовленной способом 1, в целом мало влияют на прорастание семян (рис. 3). Почти во всех вариантах наблюдался нейтральный эффект, но все же в некоторых

случаях экстракты ингибировали прорастание. Незначительное ингибирование наблюдалось при концентрации 10 г/л у кресс-салата (71,4 % проросших семян относительно контроля) и при 50 г/л у редиса (86,7 %). При концентрации 100 г/л у кресс-салата наблюдалось ярко выраженное ингибирование (3,8 % от контроля).

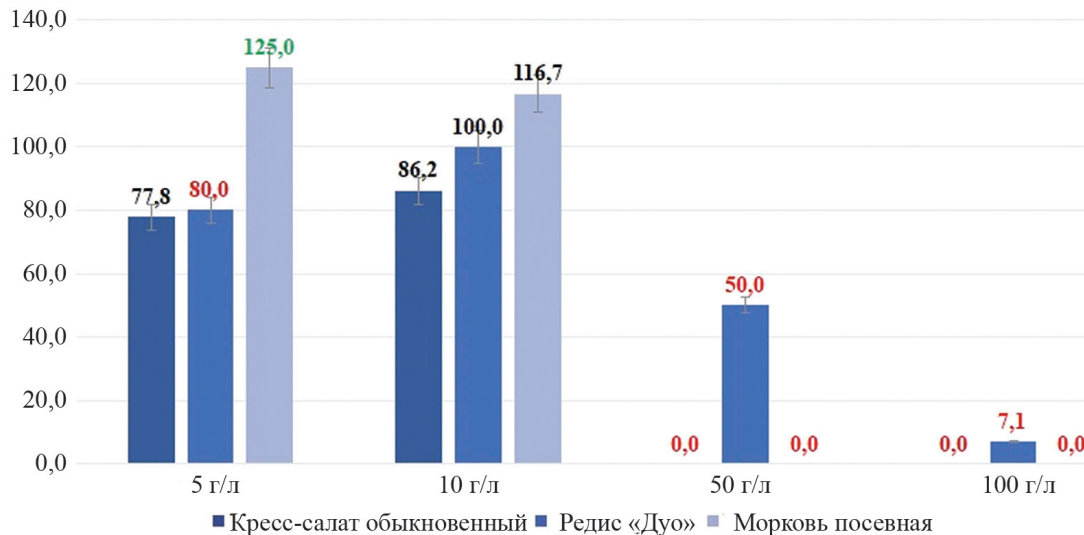


Рис. 2. Процент проросших семян тест-объектов под воздействием различных концентраций экстракта из фитомассы *A. negundo*, выдержанной под дождем

Fig. 2. The percentage of germinated seeds of test objects under the influence of various concentrations of the extract from *A. negundo* phytomass weathered by rain

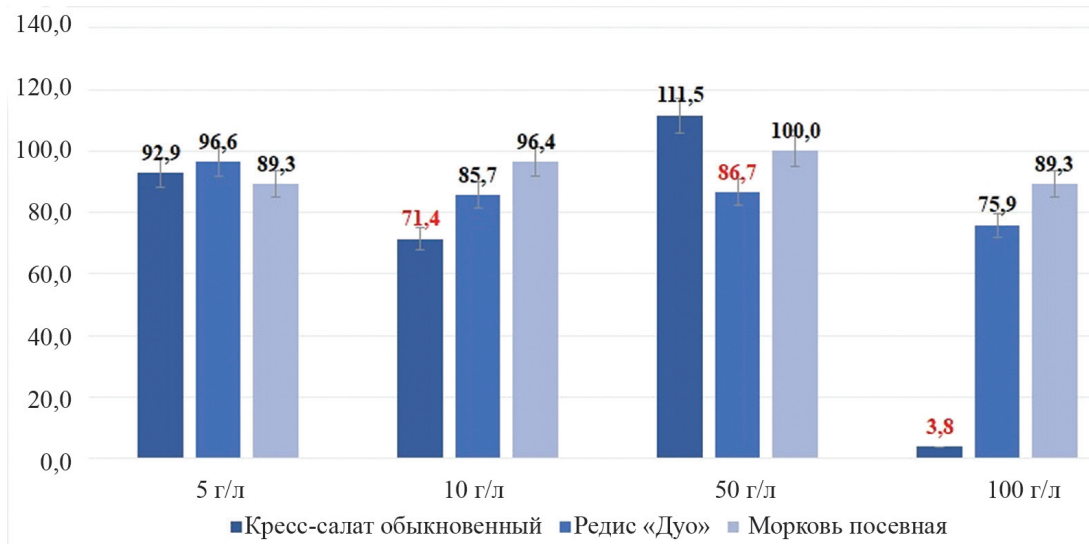


Рис. 3. Процент проросших семян тест-объектов под воздействием различных концентраций экстракта из фитомассы *R. pseudoacacia*, не находившейся под дождем

Fig. 3. The percentage of germinated seeds of test objects under the influence of various concentrations of the extract from *R. pseudoacacia* phytomass that was not exposed to rain

Экстракты из фитомассы робинии, приготовленной способом 2, на прорастание семян также влияют незначительно (рис. 4). Практически во всех вариантах наблюдался нейтральный эффект, но в некоторых случаях было замечено ингибирование прорастание семян. Незначительное ингибирование наблюдалось при концентрации 50 г/л у редиса (75 % проросших семян относительно контроля) и при 100 г/л у кресс-салата (70,4 %).

В качестве рабочей гипотезы мы допустили, что под воздействием дождя листовая фитомасса теряет часть своих аллелопатически активных веществ. Это подтверждается результатами экспериментов. В частности, при использовании фитомассы клена, приготовленной способом 2, проявился стимулирующий эффект у моркови при концентрации 5 г/л; также при концентрации 100 г/л наблюдалось незначительное

проращение семян редиса при использовании фитомассы, приготовленной способом 2, в то время как экстракты, полученные из фитомассы, подготовленной способом 1, полностью ингибировали их проращение (рис. 1, 2). Для экстрактов из робинии отмечено следующее: при использовании фитомассы, приготовленной способом 1, процент проращения семян кресс-салата при концентрации 100 г/л составил 3,8; а при использовании фитомассы, приготовленной способом 2, он возрос до 70,4 (рис. 3, 4).

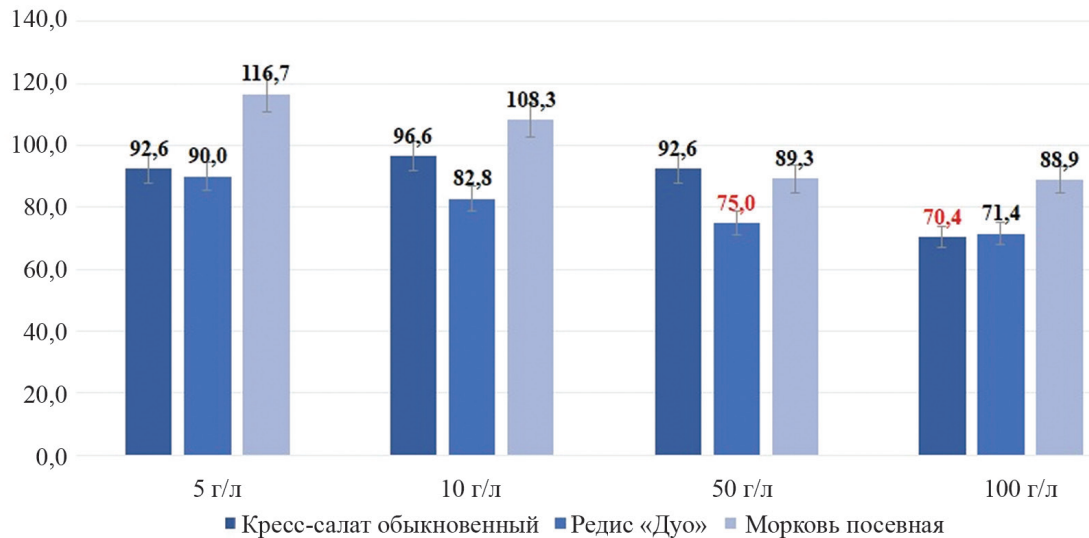


Рис. 4. Процент проросших семян тест-объектов под воздействием различных концентраций экстракта из фитомассы *R. pseudoacacia*, выдержанной под дождем

Fig. 4. The percentage of germinated seeds of test objects under the influence of various concentrations of the extract from *R. pseudoacacia* phytomass weathered by rain

Влияние экстрактов на длину корней проростков. Экстракты из фитомассы *A. negundo*, подготовленной способом 1, обладают ярко выраженным аллелопатическим воздействием на тест-объекты (рис. 5).

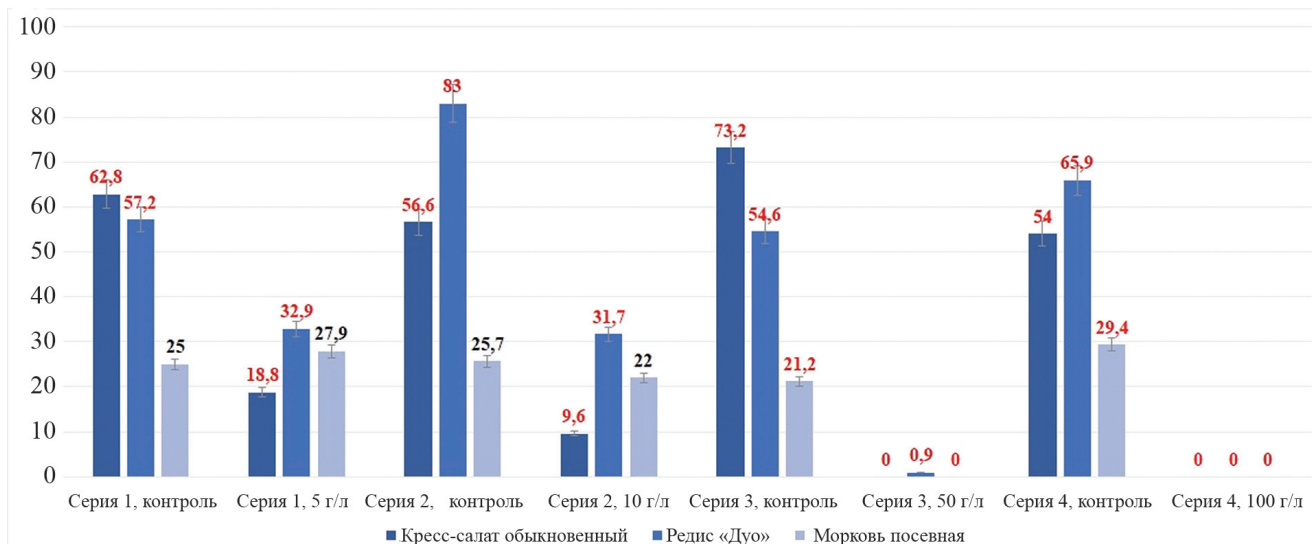


Рис. 5. Длина корней тест-объектов (мм), выросших на экстракте из фитомассы *A. negundo*, не находившейся под дождем

Fig. 5. The length of the germling roots of test objects (mm) grown on extracts from *A. negundo* phytomass that was not exposed to rain

При концентрациях 5 и 10 г/л нейтральный эффект выявлен только у моркови, тогда как на кресс-салат и редис экстракты оказывают ингибирующее воздействие. Очень короткие корешки формируются у редиса при концентрации 50 г/л, в то время как кресс-салат и морковь не дают проростков. Как было отмечено выше, вытяжка из листьев клена, подготовленных способом 1, при концентрации 100 г/л полностью подавляет проращение семян всех трех тест-культур, развития корешка и гипокотыля не наблюдается.

В отношении развития корешка проростка результаты влияния экстрактов из фитомассы клена, подготовленной способом 2, незначительно отличаются от результатов, полученных на экстрактах из фитомассы,

выделенных способом 1. Тем не менее, сравнение картин влияния данных экстрактов (рис. 5, 6) показывает снижение аллелопатического потенциала фитомассы, которая была выдержана под дождем: в частности, у моркови при концентрации 5 г/л наблюдается нейтральный эффект, а при 10 г/л – стимулирование роста корней.

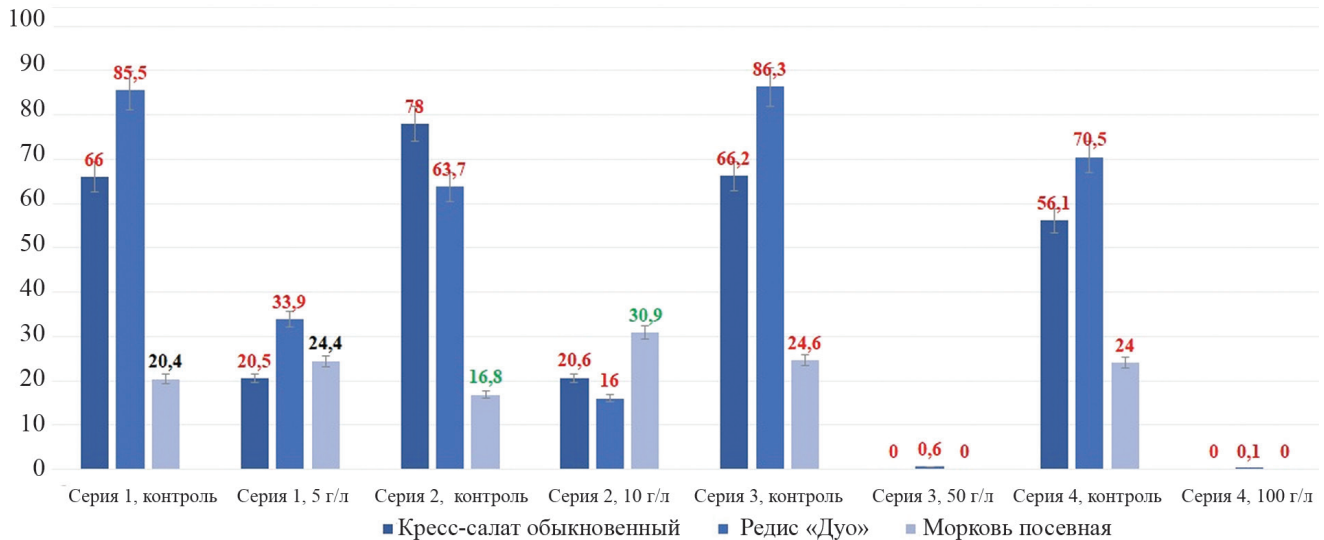


Рис. 6. Длина корней тест-объектов (мм), выросших на экстракте из фитомассы *A. negundo*, выдержанной под дождем

Fig. 6. The length of the germling roots of test objects (mm) grown on extracts from *A. negundo* phytomass weathered by rain

Экстракты из фитомассы *R. pseudoacacia*, подготовленной способом 1, оказывают влияние на длину корней проростков тест-культур следующим образом: наиболее чувствительным к аллелопатическому влиянию оказался кресс-салат – во всех концентрациях проявляется ингибирование, за исключением 5 г/л (рис. 7). У редиса при 5 г/л проявляется стимулирующий эффект, при 10 и 50 г/л – нейтральный, а ингибирование проявляется только при самой высокой концентрации. Морковь также наиболее чувствительна только при 100 г/л. При концентрациях 5 и 10 г/л растения моркови не чувствительны к воздействию экстракта, а при 50 г/л проявляется некоторый стимулирующий эффект. Таким образом, не все культуры одинаково чувствительны к воздействию аллелохимических веществ, если брать в качестве индикатора удлинение корня проростка.

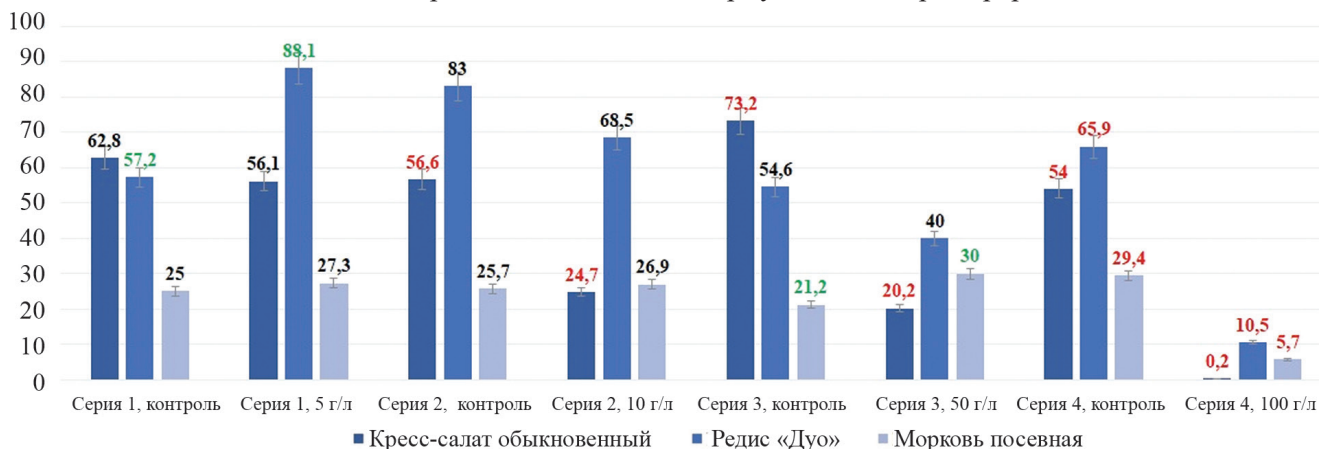


Рис. 7. Длина корней тест-объектов (мм), выросших на экстракте из фитомассы *R. pseudoacacia*, не находившейся под дождем

Fig. 7. The length of the germling roots of test objects (mm) grown on extracts from *R. pseudoacacia* phytomass that was not exposed to rain

Экстракты из фитомассы робинии, приготовленной способом 2, воздействуют следующим образом: у кресс-салата при концентрации 5 г/л наблюдается нейтральный эффект (рис. 8). Ингибирование проявляется уже при 10 г/л и усиливается при повышении концентрации. Но по сравнению с предыдущим экспериментом, не наблюдается такого ярко выраженного ингибирования при концентрации 100 г/л. Для редиса выявлен нейтральный, а при концентрации 10 г/л – стимулирующий эффект. Для моркови также не выявлено ингибирование, а только стимулирующий (при 5 и 50 г/л) или нейтральный (при 10 и 100 г/л) эффекты. В целом, при сравнении с предыдущим опытом, данные свидетельствуют о том, что фитомасса, приготовленная способом 2, более безопасна для потенциального использования в качестве мульчи как обладающая менее выраженным аллелопатическим эффектом.

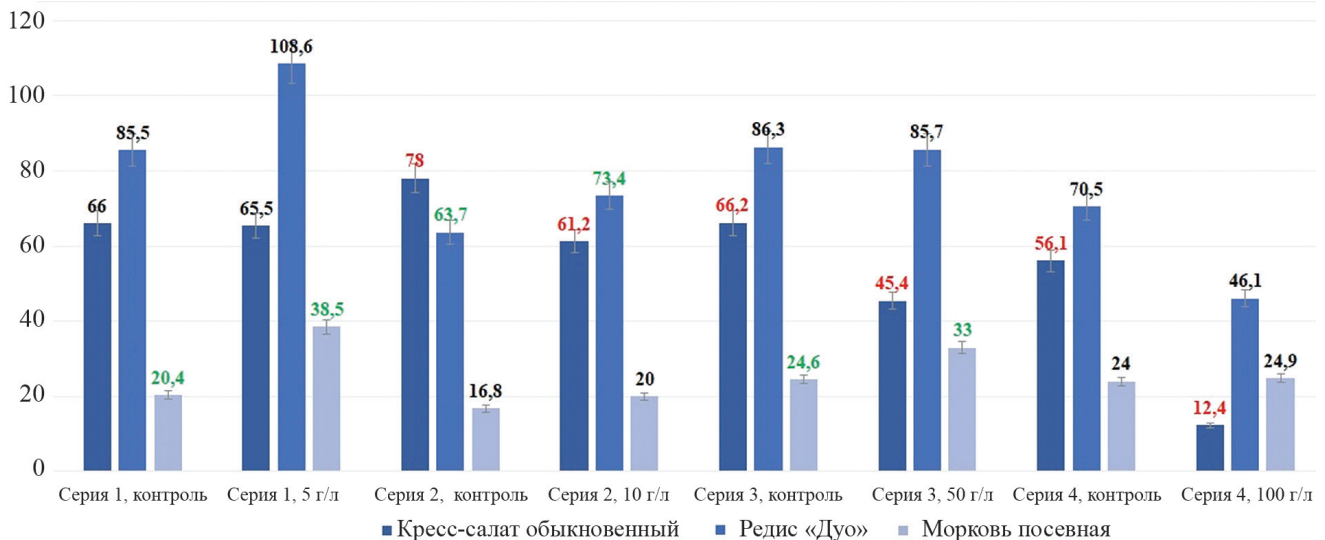


Рис. 8. Длина корней тест-объектов (мм), выросших на экстракте из фитомассы *R. pseudoacacia*, выдержанной под дождем

Fig. 8. The length of the germling roots of test objects (mm) grown on extracts from *R. pseudoacacia* phytomass weathered by rain

Влияние экстрактов на длину гипокотилия проростков. Экстракты из фитомассы *A. negundo*, подготовленной способом 1, обладают хорошо выраженным аллелопатическим эффектом в высоких концентрациях (рис. 9). При концентрации 5 г/л данный тип фитомассы оказался нейтральным для всех трех видов. При 10 г/л проявляется ингибирование роста гипокотилей кресс-салата, но для редиса и моркови эффект по-прежнему остается нейтральным. С повышением концентрации ингибирование заметно усиливается. При 50 г/л наблюдается незначительное развитие гипокотилия только у кресс-салата и редиса.

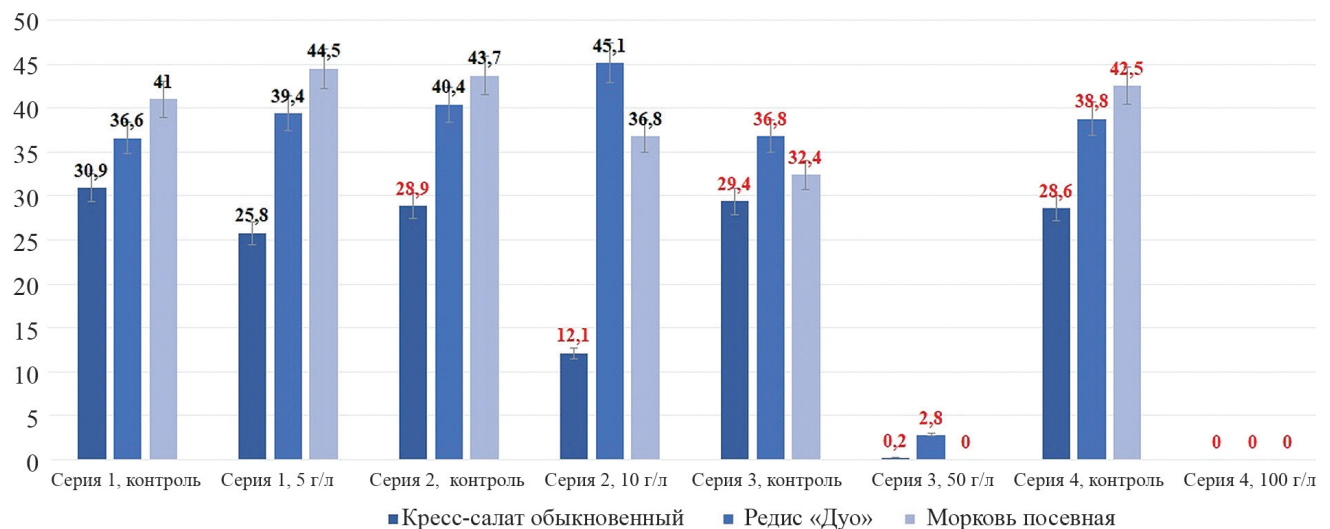


Рис. 9. Длина гипокотилей тест-объектов (мм), выросших на экстракте из фитомассы *A. negundo*, не находившейся под дождем

Fig. 9. The length of hypocotyls of test objects (mm) grown on extracts from *A. negundo* phytomass that was not exposed to rain

Развитие гипокотилия на фоне экстракта из фитомассы клена, приготовленной способом 2, демонстрирует следующие закономерности (рис. 10): при концентрации 5 г/л ингибирование отсутствует, наблюдаются только нейтральный (у кресс-салата и редиса) и стимулирующий (у моркови) эффекты. При 10 г/л происходит ингибирование роста гипокотилей кресс-салата, для редиса и моркови эффект не изменяется. При более высоких концентрациях выявлено только ингибирование, причем для кресс-салата и моркови – полное ингибирование роста гипокотилей. При сравнении картин влияния на длину гипокотилей (рис 9, 10) видны те же закономерности, что в аналогичном эксперименте по длине корней: аллелопатический потенциал фитомассы, которая была под воздействием атмосферных осадков, снижается.

Экстракты из фитомассы *R. pseudoacacia*, подготовленной способом 1, при концентрации 5 г/л стимулируют рост гипокотилей кресс-салата и редиса, для моркови – нейтральны (рис. 11). Воздействие данной

фитомассы при 10 г/л нейтрально для всех трех видов. При 50 г/л ингибирование проявляется только у кресс-салата, в то же время для остальных культур воздействие остается нейтральным. При максимальной концентрации наблюдается только эффект ингибирования, причем наиболее ярко для кресс-салата.

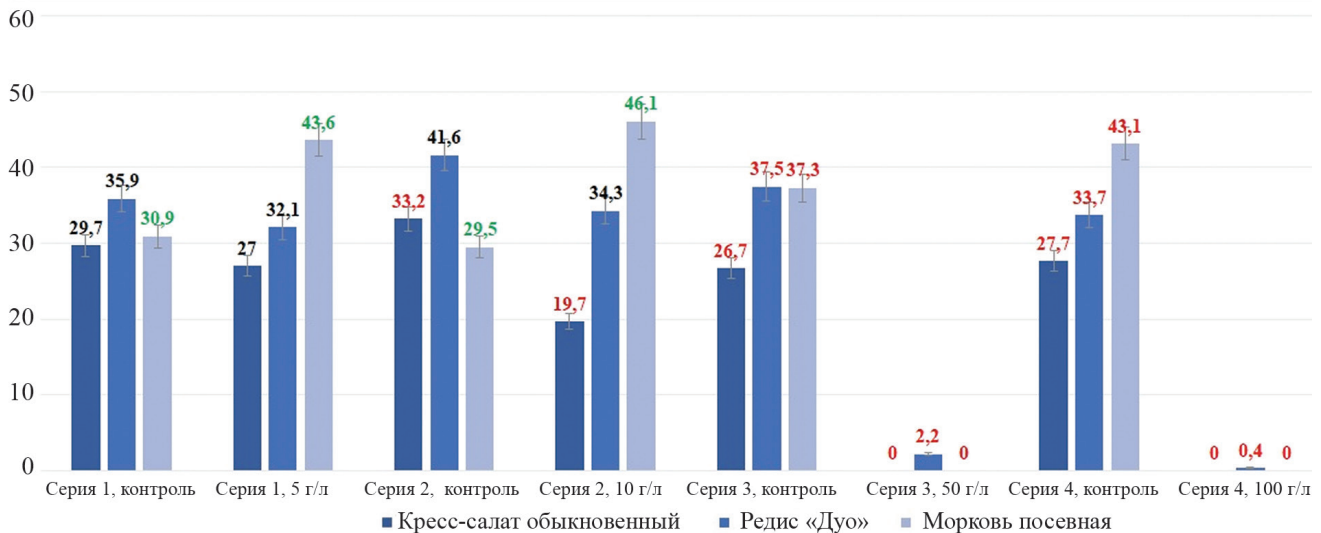


Рис. 10. Длина гипокотилей тест-объектов (мм), выросших на экстракте из фитомассы *A. negundo*, выдержанной под дождем

Fig. 10. The length of the hypocotyls of test objects (mm) grown on extracts from *A. negundo* phytomass weathered by rain

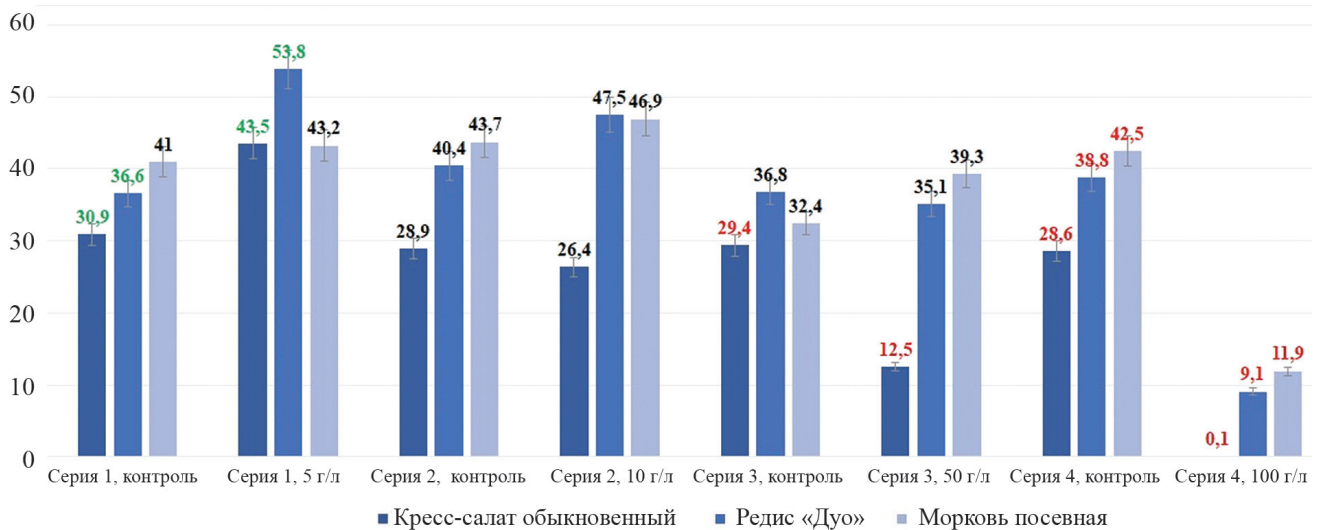


Рис. 11. Длина гипокотилей тест-объектов (мм), выросших на экстракте из фитомассы *R. pseudoacacia*, не находившейся под дождем

Fig. 11. The length of the hypocotyls of test objects (mm) grown on extracts from *R. pseudoacacia* phytomass that was not exposed to rain

Экстракты из фитомассы робинии, приготовленной способом 2, воздействуют следующим образом: при концентрации 5 г/л происходит стимулирование роста гипокотилей всех тест-культур (рис. 12). При 10 г/л стимулирование сохраняется у кресс-салата, воздействие на редис и морковь нейтрально. При 50 г/л стимулирование проявляется у кресс-салата и редиса, воздействие на морковь нейтрально. При максимальной концентрации наблюдается эффект ингибирования роста гипокотилей кресс-салата и моркови, влияние на редис нейтрально. Таким образом, фитомасса, приготовленная способом 2, больше подходит для потенциального использования в качестве мульчи, поскольку вытяжка из нее демонстрирует стимуляцию роста гипокотилей.

Наибольший интерес представляют результаты, показывающие стимулирующий эффект. В таблице представлена статистическая обработка таких результатов с помощью *t*-критерия Стьюдента при сравнении средних арифметических (контрольных и опытных образцов) по всем исследуемым параметрам (количество проросших растений, длина корней и гипокотилей растений). Все значения *t*-критерия статистически достоверны, $p < 0,05$.

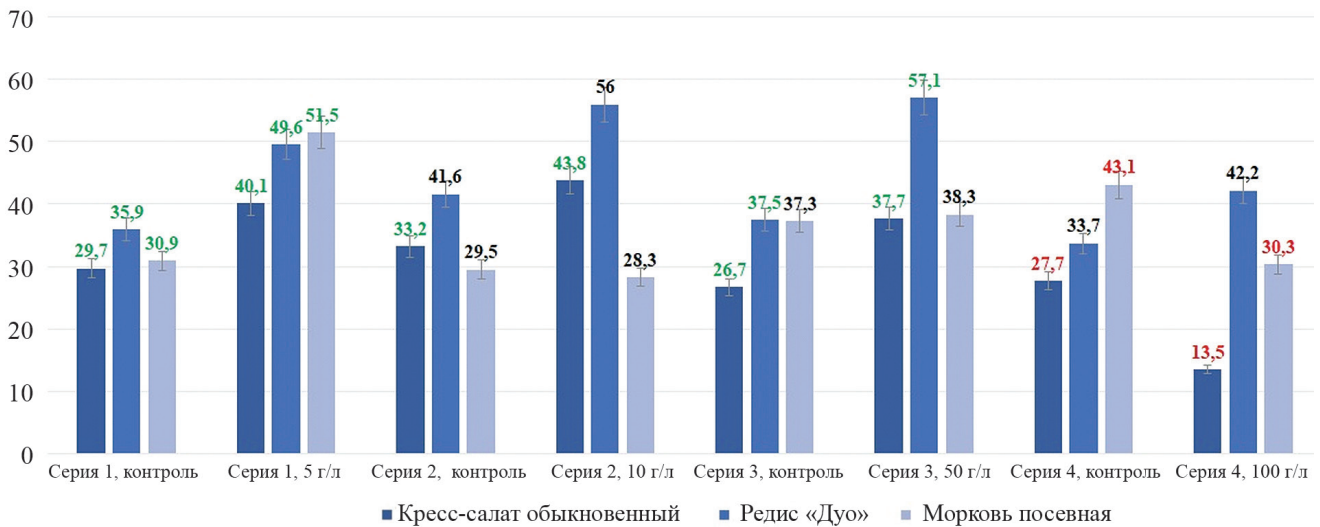


Рис. 12. Длина hypocотилей тест-объектов (мм), выросших на экстракте из фитомассы *R. pseudoacacia*, выдержанной под дождем

Fig. 12. The length of hypocotyls of test objects (mm) grown on extracts from *R. pseudoacacia* phytomass weathered by rain

Стимулирующие эффекты экстрактов листовой фитомассы инвазивных видов на развитие проростков тест-культур

Stimulating effects of leaf phytomass extracts of invasive species on the development of seedlings of test cultures

Тест-объект, концентрация, вид экстракта	Значение, полученное в результате эксперимента		Значение <i>t</i> -критерия Стьюдента	<i>p</i>
	контроль	опыт		
Количество проросших растений, шт.				
Морковь посевная, 5 г/л, <i>A. negundo</i> (д)*	24	30	3,45	0,41
Длина корешка растений, мм				
Морковь посевная, 10 г/л, <i>A. negundo</i> (д)	16,8	30,9	4,04	0,0002
Редис «Дуо», 5 г/л, <i>R. pseudoacacia</i>	57,2	88,1	2,60	0,01
Морковь посевная, 50 г/л, <i>R. pseudoacacia</i>	21,2	30	2,38	0,02
Морковь посевная, 5 г/л, <i>R. pseudoacacia</i> (д)	20,4	38,5	4,22	0,00009
Редис «Дуо», 10 г/л, <i>R. pseudoacacia</i> (д)	63,7	73,4	0,71	0,48
Морковь посевная, 50 г/л, <i>R. pseudoacacia</i> (д)	24,6	33	2,16	0,03
Длина hypocотилей растений, мм				
Морковь посевная, 5 г/л, <i>A. negundo</i> (д)	30,9	43,6	2,45	0,02
Морковь посевная, 10 г/л, <i>A. negundo</i> (д)	29,5	46,1	3,09	0,003
Кресс-салат, 5 г/л, <i>R. pseudoacacia</i>	30,9	43,5	3,18	0,002
Редис «Дуо», 5 г/л, <i>R. pseudoacacia</i>	36,6	53,8	2,78	0,007
Кресс-салат, 5 г/л, <i>R. pseudoacacia</i> (д)	29,7	40,1	2,37	0,02
Редис «Дуо», 5 г/л, <i>R. pseudoacacia</i> (д)	35,9	49,6	2,11	0,04
Морковь посевная, 5 г/л, <i>R. pseudoacacia</i> (д)	30,9	51,5	3,81	0,0003
Кресс-салат, 10 г/л, <i>R. pseudoacacia</i> (д)	33,2	43,8	2,98	0,004
Кресс-салат, 50 г/л, <i>R. pseudoacacia</i> (д)	26,7	37,7	2,5	0,02
Редис «Дуо», 50 г/л, <i>R. pseudoacacia</i> (д)	37,5	57,1	2,11	0,04

* (д) – фитомасса, выдержанная под дождем

Известно, что все типы выделений наиболее активны в листьях, менее в стеблях, еще менее в корнях [12]. Исходя из этого, выбранная нами для исследования листовая фитомасса должна в наибольшей степени показывать аллелопатическое действие *A. negundo* и *R. pseudoacacia* на другие растения.

В целом в наших экспериментах действие водных вытяжек на проростки модельных культур показывает, что *A. negundo* обладает большей ингибирующей аллелопатической активностью по сравнению с *R. pseudoacacia*. Это наблюдается при сравнении всех рассмотренных показателей: количества проросших семян тест-объектов, длины их корешков, длины hypocотилей. В то же время в работе [9] отмечается

примерно одинаковый аллелопатический потенциал для *A. negundo* и *R. pseudoacacia* в экспериментах с проростками *Sinapis alba* при использовании вытяжек из фитомассы 10 и 50 г/л, настоенной на воде в течение часа. В исследованиях других авторов не отмечается фактов стимулирующего влияния экстракта из фитомассы *A. negundo* на развитие проростков *in vitro* [7; 9; 10], однако обнаружено положительное влияние на всхожесть семян *Melilotus affinis* и *Poa pratensis* вытяжки из почвы, взятой под кроной *Acer negundo* [17]. Также не отмечалось стимулирующего эффекта при каких-либо концентрациях экстракта из листьев *R. pseudoacacia* на развитие проростков овощных и луговых культур [11].

Для окончательных выводов о применении фитомассы данных древесных инвазионных видов в качестве мульчи в садоводстве и огородничестве необходим полевой эксперимент, так как наблюдаемые закономерности в лаборатории и в поле могут заметно отличаться [18]. Тем не менее, уже на основе наших экспериментов *in vitro* можно сделать вывод, что фитомасса, выдержанная непродолжительное время под дождем, снижает свое ингибирующее действие на растения. Для применения мульчи нужно учитывать также видоспецифическое действие аллелопатически активных веществ [19] и проверять фитомассу на каждой культуре отдельно. Поскольку в наших экспериментах небольшие концентрации вытяжек оказывали как ингибирующий, так нейтральный и даже стимулирующий эффект, то будет иметь значение количество фитомассы, вносимой на единицу площади под конкретную культуру. При этом можно взять за основу, что концентрации фитомассы в экспериментах *in vitro* из расчета от 5 до 20 г/л наиболее соответствуют концентрации аллелопатических веществ в подстилке и почве в естественных условиях [20]. Ингибирующее действие фитомассы можно использовать для подавления развития нежелательных растений, в том числе травянистых сорняков.

Заключение

Клен ясенелистный обладает большей ингибирующей аллелопатической активностью (фитотоксичностью), чем робиния лжеакация. В частности, при концентрации 100 г/л вытяжка из листьев клена полностью подавляла прорастание семян кресс-салата, редиса и моркови, а вытяжка из листьев робинии оказывала нейтральный эффект (статистически несущественно снижала всхожесть семян) в отношении редиса и моркови. Экстракт из клена во всех концентрациях подавлял рост корешка у редиса, а экстракт из робинии в тех же концентрациях оказывал нейтральное или слегка стимулирующее действие на развитие корешка.

Как правило, эффект ингибирования развития проростков по трем изученным параметрам (процент проросших семян, длина корешка и гипокотилия) увеличивается с повышением концентрации вытяжки. Исключение составляет удлинение корешков проростков моркови, которое слегка стимулировалось вытяжкой из клена 10 г/л и робинии 50 г/л.

Заготовленная фитомасса *A. negundo* и *R. pseudoacacia* под воздействием дождя частично теряет свои ингибирующие аллелопатические свойства. Например, после выдержки под дождем листья *A. negundo* проявляют (при концентрации экстракта 10 г/л) в 2,3 раза меньший эффект угнетения роста корешков у кресс-салата.

В отдельных случаях вытяжки из листьев (фитомасса, выдержанная под дождем) имеют стимулирующий эффект на развитие проростков: экстракт из клена 5 г/л повышал всхожесть семян моркови на 25 %; экстракт из робинии 5 г/л вызывал удлинение корешка у проростков моркови в 1,9 раза; экстракты из робинии 5–50 г/л вызывали удлинение гипокотилия у кресс-салата в 1,3–1,4 раза. В случаях стимулирования экстракты из листьев *R. pseudoacacia* оказывают более сильный эффект на развитие проростков, чем экстракты из листьев *A. negundo*, в особенности в отношении длины гипокотилей.

Разные культуры по-разному чувствительны к воздействию аллелохимических веществ. В частности, экстракт из робинии 100 г/л снижал всхожесть семян кресс-салата до 3,8 %, а моркови – до 89,3 %. Экстракт из листьев робинии, выдержанных под дождем, уменьшал среднюю длину корешка у кресс-салата – в 4,5 раза, а у редиса – в 1,5 раза.

Библиографические ссылки

1. Дубовик ДВ, Дмитриева СА, Ламан НА и др. *Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения*. Минск: Белорусская наука; 2020. 407 с.
2. Дубовик ДВ, Лебедько ВН, Парфенов ВИ и др. *Растения-агрессоры. Инвазионные виды на территории Беларуси*. Минск: Белорусская Энциклопедия імя Пётруся Броўкі; 2017. 192 с.
3. Соколов АС, Шпилевская НС. Распространение инвазивных видов как глобальная и региональная экологическая проблема. *Геаграфія*. 2020;6:26–38.
4. Бордок ИВ, Владимиров ИИ, Власов БП и др. *Мониторинг растительного мира в Республике Беларусь: результаты и перспективы*. Минск: Белорусская наука; 2019. 491 с.
5. Мялик АН, Галуц ОА. Хозяйственное значение инвазионных видов растений Белорусского Полесья. *Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця*. 2016;9:24–28.
6. Яхновец МН. Проблема древесных фитоинвазий во флоре Белорусского Полесья. В: *Пинские чтения: материалы I международной научно-практической конференции*. Пинск: [б. и.]; 2022. с. 433–435.
7. Лазарева ДД, Калашников ДВ. Аллелопатическое влияние клена ясенелистного (*Acer negundo*) в условиях Москвы. *Вестник ландшафтной архитектуры*. 2017;10:53–58.

8. Еременко ЮА. Аллелопатические свойства адвентивных видов древесно-кустарниковых растений. *Промышленная ботаника*. 2012;12:188–193.
9. Csiszár Á. Allelopathic effects of invasive woody plant species in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. 2009;5:9–17.
10. Панасенко НН, Володин ВВ, Володченко ЮС и др. Аллелопатические свойства *Acer negundo*. *Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований Брянского государственного университета*. Брянск: [б. и.]; 2018. с. 34–36.
11. Nasir H, Iqbal Z, Hiradate S et al. Allelopathic potential of *Robinia pseudo-acacia* L. *Journal of Chemical Ecology*. 2005;9:2179–2192.
12. Гродзинский АМ. Аллелопатия растений и почвоутомление. Киев: Наукова думка; 1994. 432 с.
13. Изоткин ДИ, Холенко МС. Влияние экстрактов из *Fraxinus excelsior* L. и *Fraxinus pennsylvanica* March. на параметры роста кресс-салата. *Ученые записки Брянского государственного университета*. 2020;1:54–59.
14. Александров ДС, Калашников ДВ. Влияние экстрактов листового опада березы и кленов на прорастание семян и начальные этапы роста газонных культур. *Вестник ландшафтной архитектуры*. 2019;17:3–6.
15. Камалтдинова АР. Использование растений в качестве тест-объекта в оценке загрязнения почвы. *Матрица научного познания*. 2019;6:53–56.
16. Доспехов БА. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. Москва: Агропромиздат; 1985. 351 с.
17. Цандекова ОЛ. Роль аллелопатического влияния *Acer negundo* L. на рост травянистых растений. *Вестник Нижневартковского государственного университета*. 2020;1:15–18.
18. Гродзинский АМ. *Основи хімічної взаємодії рослин*. Київ: Наукова думка; 1973. 207 с.
19. Кондратьев МН, Ларикова ЮС, Бударин СН и др. Роль инвазивности растительных видов при внедрении в естественные и агроэкосистемы. *Тобольск научный*. Тобольск: [б. и.]; 2013. с. 128–132.
20. Мороз ПА. *Аллелопатия в плодовых садах*. Киев: Наукова думка; 1990. 208 с.

References

1. Dubovik DV, Dmitrieva SA, Laman NA et al. *Chernaya kniga flory Belarusi: chuzherodnye vredonosnye rasteniya* [Black book of Belarus flora: alien harmful plant species]. Minsk: Belaruskaya navuka; 2020. 407 p. Russian.
2. Dubovik DV, Lebed'ko VN, Parfenov VI et al. *Rasteniya-agressory. Invazionnyye vidy na territorii Belarusi* [Aggressive plants. Invasive species on the territory of Belarus]. Minsk: Belaruskaya Entsyklopedyya imya Petrusya Browki; 2017. 192 p. Russian.
3. Sokolov AS, Shpilevskaya NS. *Rasprostranenie invazivnykh vidov kak global'naya i regional'naya ekologicheskaya problema* [The spread of invasive species as a global and regional ecological problem]. *Geografiya* [Geography]. 2020;6:26–38. Russian.
4. Bordok IV, Vladimirova IN, Vlasov BP et al. *Monitoring rastitel'nogo mira v Respublike Belarus': rezul'taty i perspektivy* [Flora monitoring in the Republic of Belarus: results and prospects]. Minsk: Belaruskaya navuka; 2019. 491 p. Russian.
5. Myalik AN, Galuts OA. *Khozyaistvennoe znachenie invazionnykh vidov rastenii Belorusskogo Poles'ya* [Economic importance of invasive plant species of Belarusian Polesie]. *Pryrodnae asyaroedze Paleessya: asablivasci i perspektivy razvicya* [Natural environment of Polesie: features and prospects of development]. 2016;9:24–28. Russian.
6. Yakhnovets MN. *Problema drevesnykh fitoinvazii vo flore Belorusskogo Poles'ya* [The problem of tree phytovasions in the flora of Belarusian Polesie]. In: *Pinskie chteniya: materialy I mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Pinsk Readings: Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference]. Pinsk: [publisher unknown]; 2022. p. 433–435. Russian.
7. Lazareva DD, Kalashnikov DV. *Allelopaticheskoe vliyanie klena yasenelistnogo (Acer negundo) v usloviyakh Moskvy*. *Vestnik landshaftnoi arkhitektury* [Allelopathic influence of ash-leaved maple (*Acer negundo*) in environment of Moscow]. *Vestnik landshaftnoi arkhitektury* [Bulletin of landscape architecture]. 2017;10:53–58. Russian.
8. Yeriomenko YuA. *Allelopaticheskie svoystva adventivnykh vidov drevesno-kustarnikovyykh rastenii* [Allelopathic features of the adventitious woody and shrub plants]. *Promyshlennaya botanika* [Industrial Botany]. 2012;12:188–193. Russian.
9. Csiszár Á. Allelopathic effects of invasive woody plant species in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. 2009;5:9–17.
10. Panasenka NN, Volodin VV, Volodchenko YuS. *Allelopaticheskie svoystva Acer negundo* [Allelopathic properties of *Acer negundo*]. *Ezhegodnik NII fundamental i prikladnykh issledovaniy Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Annals of the Research Institute for Fundamental and Applied Research of the Bryansk State University]. Bryansk: [publisher unknown]; 2018. p. 34–36. Russian.
11. Nasir H, Iqbal Z, Hiradate S et al. Allelopathic potential of *Robinia pseudo-acacia* L. *Journal of Chemical Ecology*. 2005;9:2179–2192.
12. Grodzinskiy AM. *Allelopatiya rastenii i pochvoutomlenie* [Plant allelopathy and soil fatigue]. Kiev: Naukova dumka; 1994. 432 p. Russian.
13. Izotkin DI, Kholenko MS. *Vliyanie ekstraktov iz Fraxinus excelsior L. i Fraxinus pennsylvanica March. na parametry rosta kress-salata* [Effect of extracts from *Fraxinus excelsior* L. and *Fraxinus pennsylvanica* March. on watercress growth parameters]. *Uchenye zapiski Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific Notes of Bryansk State University]. 2020;1:54–59. Russian.
14. Aleksandrov DS, Kalashnikov DV. *Vliyanie ekstraktov listovogo opada berezy i klenov na prorastanie semyan i nachal'nye etapy rosta gazonnykh kul'tur* [Influence of birch and maple leaf litter extracts on seed germination and initial stages of lawn crops growth]. *Vestnik landshaftnoi arkhitektury* [Bulletin of landscape architecture]. 2019;17:3–6. Russian.
15. Kamaltdinova AR. *Ispol'zovanie rastenii v kachestve test-ob'ekta v otsenke zagryazneniya pochvy* [The use of plants as a test object in the assessment of soil pollution]. *Matritsa nauchnogo poznaniya* [Matrix of scientific knowledge]. 2019;6:53–56. Russian.
16. Dospekhov BA. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat; 1985. 351 p. Russian.
17. Tsandekova OL. *Rol' allelopaticheskogo vliyaniya Acer negundo L. na rost travyanistykh rastenii* [The role of the allelopathic influence of *Acer negundo* L. on the growth of herbaceous plants]. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Nizhnevartovsk State University]. 2020;1:15–18. Russian.
18. Grodzinskiy AM. *Osnovy himichnoi' vzajemodii' roslin* [The basics of chemical interactions between plants]. Kyi'v: Naukova dumka; 1973. 207 p. Ukrainian.
19. Kondrat'ev MN, Larikova YuS, Budarin SN et al. *Rol' invazivnosti rastitel'nykh vidov pri vnedrenii v estestvennye i agroekosistemy* [The role of invasiveness of plant species when introduced into natural and agroecosystems]. *Tobol'sk nauchnyi* [Tobolsk scientific]. Tobolsk: [publisher unknown]; 2013. p. 128–132. Russian.
20. Moroz PA. *Allelopatiya v plodovykh sadakh* [Allelopathy in orchards]. Kiev: Naukova dumka; 1990. 208 p. Russian.