Изучение и реабилитация экосистем

The study and rehabilitation of ecosystems

УДК 581.524.1:581.142+631.879.4

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

М. Н. ЯХНОВЕЦ[1), 2)]**, *Е. О. ЮРЧЕНКО***[3)]

[1)]*Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет,*
[2)]*Полесский государственный университет,*
ул. Днепровской флотилии, 23, 225710, г. Пинск, Беларусь,
[3)]*Белостокский политехнический университет,*
ул. Вейска, 45А, 15-351, Белосток, Польша

Клен ясенелистный и робиния лжеакация являются инвазионными древесными видами, требующими мер сдерживания их распространения. При механическом уничтожении рассматривается возможность использования надземной фитомассы данных растений в качестве удобрения после компостирования. Для подобного применения необходимо оценить аллелопатические эффекты компоста на другие растения. Аэробное пассивное компостирование листьев клена

Образец цитирования:
Яхновец МН, Юрченко ЕО. Оценка биологической активности экстрактов из компостированных листьев *Acer negundo* L. и *Robinia pseudoacacia* L. на проростках тест-культур. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2023;3:4–15.
https://doi.org//10.46646/2521-683X/2023-3-4-15

For citation:
Yakhnovets MN, Yurchenko EO. Evaluation of the biological activity of extracts from *Acer negundo* L. and *Robinia pseudoacacia* L. composted leaves on seedlings of test cultures. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2023;3:4–15. Russian.
https://doi.org//10.46646/2521-683X/2023-3-4-15

Авторы:
Максим Николаевич Яхновец – аспирант кафедры общей биологии и генетики[1]; преподаватель-стажер кафедры ландшафтного проектирования[2].
Юрченко Евгений Олегович – 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

и робинии проводилось в течение 10 мес. (с сентября по июль) под открытым небом. Действие водных экстрактов компоста тестировалось *in vitro* на прорастающих семенах *Lepidium sativum, Raphanus sativus* и *Daucus carota*; учитывался процент проросших семян, длина корешка и гипокотиля проростка при концентрациях экстракта в пересчете на сухую массу 5, 10, 50 и 100 г/л с контролем на дистиллированной воде. Вторым контролем были водные экстракты из высушенных зеленых листьев *A. negundo* и *R. pseudoacacia*, то есть из некомпостированной фитомассы. Указанное одногодичное компостирование листьев *A. negundo* позволяет значительно снизить фитотоксичность данной фитомассы. В частности, на фоне экстракта 50 г/л прорастание семян моркови составляло 3,7 % для некомпостированных листьев и 112 % к контролю для компоста. Экстракт из компостированных листьев *R. pseudoacacia* показал неизменность или усиление ингибирующих аллелопатических свойств по сравнению с экстрактом из некомпостированных листьев. Эстракты из компоста *R. pseudoacacia* демонстрировали увеличение ингибирующего действия на развитие проростков по мере увеличения концентрации от 5 до 100 г/л. Для экстрактов из компоста *A. negundo* такая закономерность слабо прослеживалась. В отдельных случаях вытяжки из компоста имели стимулирующий эффект на развитие проростков: экстракты из клена и робинии 5 г/л вызывали удлинение корешка у проростков редиса в 1,7–1,9 раза; экстракты из клена 5–50 г/л – в 1,3–1,9 раза; экстракты из робинии 5 и 10 г/л – в 1,4 раза и аналогичный экстракт 10 г/л вызывал удлинение гипокотиля у кресс-салата в 1,3 раза. Три тест-культуры показали разную чувствительность к воздействию веществ компоста. В частности, экстракт из *A. negundo* оказывал ингибирующее воздействие на длину корешка кресс-салата во всех вариантах, тогда как для редиса выявлен только нейтральный и стимулирующий эффекты; тот же экстракт стимулировал развитие гипокотиля только у редиса, а ингибировал только у кресс-салата. Экстракт из компоста *R. pseudoacacia* 50 г/л снижал всхожесть кресс-салата до 0 %, а редиса – до 58,6 %.

Ключевые слова: аллелопатия; биотестирование; древесные сорные растения; мульча; овощные культуры.

EVALUATION OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF EXTRACTS FROM *ACER NEGUNDO* L. AND *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. COMPOSTED LEAVES ON SEEDLINGS OF TEST CULTURES

***M. N. YAKHNOVETS*[a,b], *E. O. YURCHENKO*[c]**

[a]*International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,*
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus
[b]*Polessky State University,*
23 Dniaproŭskaj flatylii Street, Pinsk 225710, Belarus
[c]*Białystok University of Technology,*
45A Wiejska Street, Białystok 15-351, Poland
Corresponding author: M. N. Yakhnovets (maksim.yakhnovets@gmail.com)

Ash-leaved maple and black locust are invasive woody species that require the measures for their spread control. In the case of mechanical elimination of these plants, the possibility of using their phytomass as a fertilizer after composting is considered. For such kind of application, it is necessary to evaluate the allelopathic effects of the phytomass on other plants. Aerobic passive composting of *A. negundo* and *R. pseudoacacia* leaves was carried out outdoor during 10 month (from September to July). In the article, the activity of compost water extracts was tested *in vitro* on germinating seeds of *Lepidium sativum, Raphanus sativus*, and *Daucus carota*; the percentage of germinated seeds, the length of the root and hypocotyl were measured, at concentrations of the extract 5, 10, 50, and 100 g/l of dry powdered composted leaves, with control on distilled water. The second control was the water extracts from dried green leaves of *A. negundo* and *R. pseudoacacia*, i.e. from non-composted phytomass. The composting process described above led to a significant decrease of allelopathic inhibition effect of *A. negundo* composted leaves compared to non-composted ones. In particular, 3,7 % of carrot seeds germinated on extract (50 g/l) from non-composted leaves and 112 % to control on extract from composted ones. The extracts from compost of *R. pseudoacacia* demonstrated near unchanged or increased allelopathic inhibition properties compared to non-composted leaves. Moreover, extracts from *R. pseudoacacia* compost showed the increase of inhibition properties on seedlings, when their concentration increased from 5 to 100 g/l. Such regularity was little pronounced for extracts from *A. negundo* compost. In several cases, the extracts from compost had stimulating effect: from *A. negundo* and *R. pseudoacacia*, 5 g/l, provoked 1.7–1.9 times elongation of root in radish seedlings; from *A. negundo*, 5–50 g/l, stimulated 1.3–1.9 times elongation of hypocotyl in radish; from *R. pseudoacacia*, 5 and 10 g/l, led to 1.4 times elongation of hypocotyl in radish; from *R. pseudoacacia*, 10 g/l, stimulated 1.3 times elongation of hypocotyl in watercress. Three test cultures involved in this research demonstrated different sensitivity to the same compost extracts. E.g., *A. negundo* extract inhibited the elongation of roots in watercress seedlings, whereas it had neutral or stimulating effect on radish. The same extract stimulated the development of hypocotyl in radish only, and inhibited in watercress only. Extract from *R. pseudoacacia* compost, 50 g/l, decreased the germination rate to 0% for watercress, but to 58.6 % in radish.

Keywords: allelopathy; biotesting; mulch; vegetable cultures; wooden weeds.

Введение

Распространение инвазионных видов растений (видов-агрессоров) – это одна из глобальных проблем современности. Фитоинвазии не только изменяют флору и растительность различных территорий, но и влияют на состояние почв, гидрологический режим, круговорот химических элементов [1–3]. В Республике Беларусь среди древесных инвазионных видов в наибольшей степени прогрессируют клен ясенелистный (*Acer negundo* L., известный под названием *Negundo aceroides* Moench) и робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) [4; 5]. В различных странах эти деревья применялись для создания защитных и декоративных насаждений. Затем они натурализовались во многих местах интродукции.

Acer negundo первоначально произрастал в умеренной части Северной Америки [6], но затем его инвазия стала проблемой почти по всей умеренной Евразии, от Западной Европы до Приморья [7–10]. *Robinia pseudoacacia* имела первичный ареал в юго-восточной части Северной Америки [11], впоследствии натурализовалась и стала видом-агрессором в Европе, Азии, Южной Америке, Южной Африке, Австралии [12; 13].

Одним из методов борьбы с инвазией или мерой сдерживания распространения древесных инвазионных видов является низкая срезка растущей надземной части для истощения корневой системы [1; 14], с возможным последующим нанесением гербицидов на пеньки [15]. Запасы фитомассы *A. negundo* и *R. pseudoacacia* в отдельных местах произрастания в Беларуси весьма значительны, что требует утилизации после срезки. Листья и измельченные ветви потенциально могут быть использованы в качестве мульчи и компоста для огородных, плодовых и декоративных растений, однако аллелопатические свойства данной фитомассы, ее безопасность применения под культурными растениями не до конца изучены. В нашей предыдущей работе [16] изучалась аллелопатическая активность экстрактов из зеленой листовой массы *A. negundo* и *R. pseudoacacia*, подготовленной различными способами, методом биотестирования *in vitro* на проростках овощных растений. Биологическое тестирование вытяжек на прорастающих семенах *in vitro* – это один из главных методов в исследовании аллелопатии [17–19], а также фитотоксичности компостов [20; 21].

Известны работы, в которых изучалась аллелопатическая активность экстрактов из зеленых листьев [22], побегов [23], листового опада/подстилки *A. negundo* [24–26], а также почвы из-под *A. negundo* [26] в отношении проростков различных травянистых растений. Сходные исследования проведены по экстрактам из листьев [27; 28] и побегов [23] *R. pseudoacacia*.

Цель данной работы – оценка изменений аллелопатических свойств листовой массы двух древесных инвазионных видов при ее компостировании по сравнению с высушенными зелеными листьями. Последние потенциально могут применяться в качестве натуральной мульчи [29]. Существуют публикации, где обсуждается динамика фитотоксичности фитомассы различных растений по мере разложения данной фитомассы [30–32]. Однако ранее свойства компоста из *A. negundo* и *R. pseudoacacia* не были предметом исследований других авторов.

Материалы и методы исследования

Оценка биологической активности экстрактов проводилась по методике, описанной в нашей предыдущей работе по данной теме [16], включая сбор фитомассы инвазионных растений, место и схему проведения экспериментов, тестовые растительные объекты и статистическую обработку результатов. Экстракцию проводили с навесками высушенной размолотой фитомассы в вариантах 5, 10, 50 и 100 г/л, что обозначено в тексте как концентрация экстракта.

Фитомассу *A. negundo* и *R. pseudoacacia* подвергли пассивному аэробному компостированию. Для этого высушенные на солнце зеленые листья поместили в проницаемые для дождя плетеные пластиковые мешки (для защиты фитомассы от пыли), которые разместили на 10 мес. (с сентября 2021 по июль 2022 г.), на дощатом настиле, не контактирующем с поверхностью земли. Для оценки изменения аллелопатической активности применяли контроль в виде экстракта некомпостированных листьев. Для этого использовалась зеленая листовая масса, собранная летом – в начале осени 2021 г., которую высушили на солнце и хранили до лета 2022 г. в сухом проветриваемом помещении с уличной температурой, после чего измельчали для экстрагирования. Лабораторные эксперименты проводились в период январь – май 2023 г.

Различия между средними значениями проверялись на достоверность, часть из них были признаны статистически значимыми при $p<0{,}05$. С учетом достоверности различий между средними и типом влияния на развитие проростков на столбчатых диаграммах (см. Результаты исследования и их обсуждение) применяются следующие условные обозначения: в случае ингибирования значения выделены красным цветом, в случае стимулирования – зеленым цветом, при несущественном ингибирующем или стимулирующем действии (в случае нейтрального эффекта) – черным цветом.

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние экстрактов на прорастание семян. 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, то есть к количеству семян, проросших на дистиллированной воде.

Экстракты из компоста *A. negundo* обладали гораздо меньшей аллелопатической активностью, чем экстракты из некомпостированных листьев (рис. 1 *а*). При концентрациях 5 и 10 г/л их действие на тест-культуры нейтрально. При концентрации 50 г/л также наблюдается преимущественно нейтральный эффект, за исключением кресс-салата, прорастание которого ингибировалось (проросло 44,4 % семян). При 100 г/л экстракт оказался нейтральным только для моркови, а на прорастание кресс-салата и редиса оказывал небольшой ингибирующий эффект (проросло 80,8 и 73,3 % семян соответственно). Для экстрактов некомпостированной фитомассы (рис. 1*б*) наблюдается полное ингибирование прорастания кресс-салата в концентрациях 50 и 100 г/л, редиса при 50 г/л и моркови при 100 г/л.

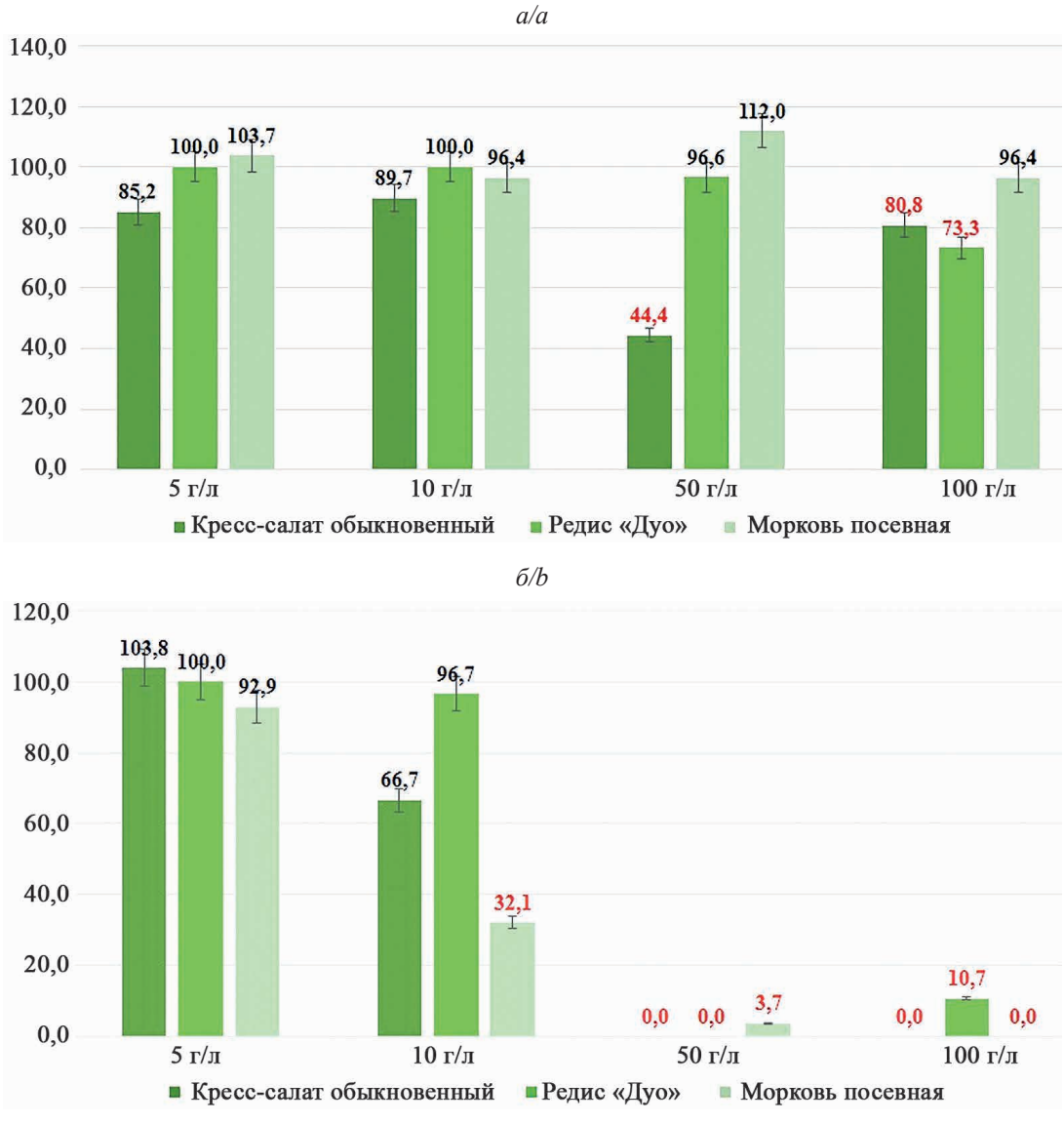


Рис. 1. Процент проросших семян тест-объектов под воздействием различных концентраций экстракта из компоста *A. negundo* (*а*) в сравнении с некомпостированной листовой массой (*б*)

Fig. 1. The percentage of germinated seeds of test objects exposed to different concentrations of *A. negundo* compost extract (*a*), compared to non-composted leaves extract (*b*)

Экстракты из компоста *R. pseudoacacia* в концентрациях 5 и 10 г/л показали результат, близкий по своему паттерну к экстракту некомпостированной фитомассы (рис. 2). Для экстракта из компоста при концентрации 50 г/л нейтральный эффект наблюдался только для моркови (52 % проросших семян), в то

время как прорастание редиса частично ингибировалось (58,6 %), а прорастание кресс салата полностью подавлялось. При концентрации 100 г/л полное ингибирование наблюдалось для кресс-салата и моркови, а у редиса проросло только 10 % семян. Экстракт из некомпостированной фитомассы робинии полностью ингибировал прорастание только кресс-салата в концентрации 100 г/л.

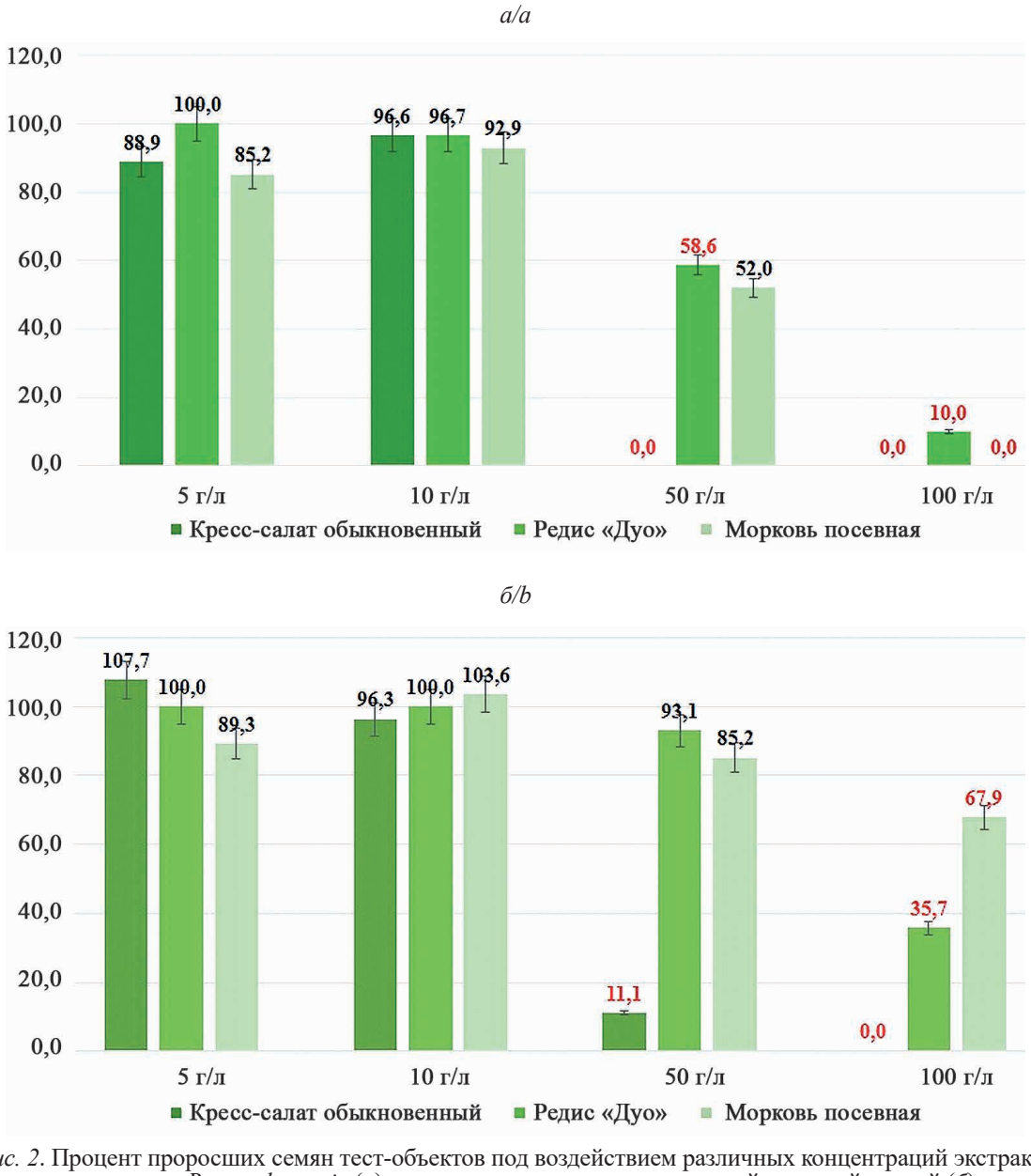


Рис. 2. Процент проросших семян тест-объектов под воздействием различных концентраций экстракта из компоста *R. pseudoacacia* (*а*) в сравнении с некомпостированной листовой массой (*б*)

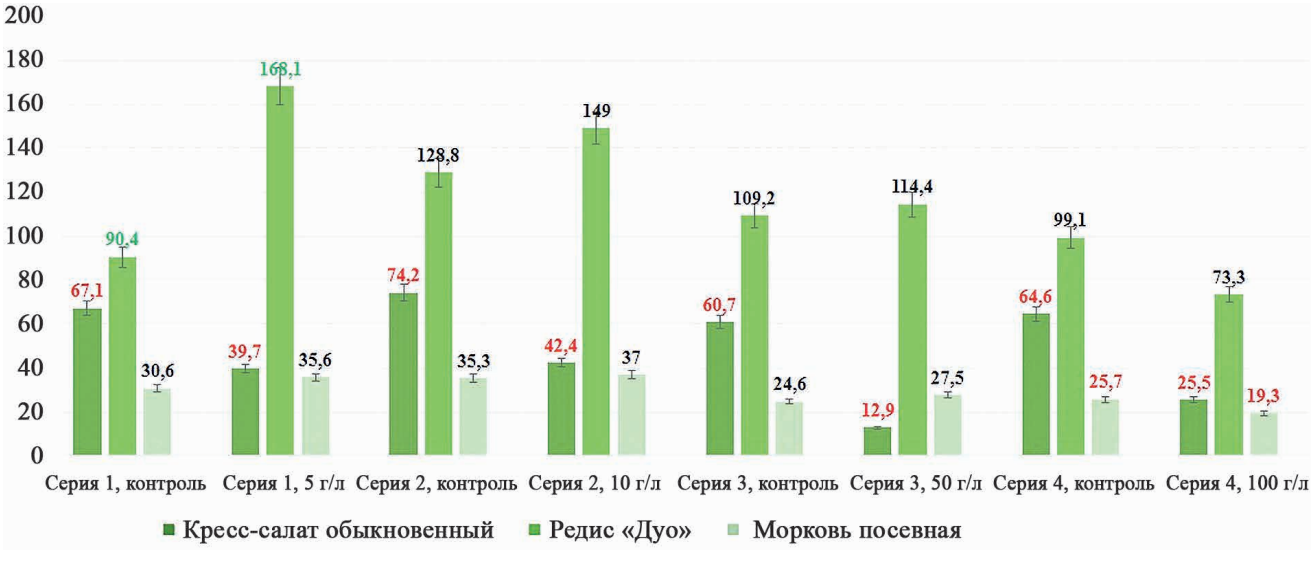
Fig. 2. The percentage of germinated seeds of test objects exposed to different concentrations of *R. pseudoacacia* compost extract (*a*), compared to non-composted leaves extract (*b*)

Влияние экстрактов на длину корня проростков. В отношении развития корешка проростков результаты влияния экстрактов из компоста *A. negundo* заметно отличаются от результатов, полученных на экстрактах из некомпостированной фитомассы: отмечено снижение аллелопатического потенциала у компоста (рис. 3). Для редиса выявлен только нейтральный и стимулирующий (при 5 г/л) эффекты. Для моркови данный тип преобразованной фитомассы также оказался преимущественно нейтральным по действию, за исключением ингибирования при концентрации 100 г/л. Компост из клена оказывал ингибирующее воздействие на кресс-салат во всех вариантах.

Паттерны аллелопатического влияния компостированной и некомпостированной фитомассы *R. pseudoacacia* на рост корешков проростков оказались схожи (рис. 4). Как и в случае экстракта некомпостированной фитомассы, наиболее чувствительным к аллелопатически активным веществам компоста

оказался кресс-салат, у которого при всех концентрациях проявляется ингибирование, в том числе при 50 и 100 г/л – полное ингибирование. Экстракт стимулировал проростки редиса в концентрации 5 г/л, при 10 г/л воздействовал нейтрально, а при более высоких концентрациях проявлял ингибирующий эффект. Для моркови экстракт из компоста был нейтральным при 5 и 10 г/л, ингибирующим – при 50 и 100 г/л, причем при 100 г/л наблюдалось полное ингибирование прорастания моркови.

а/a



б/b

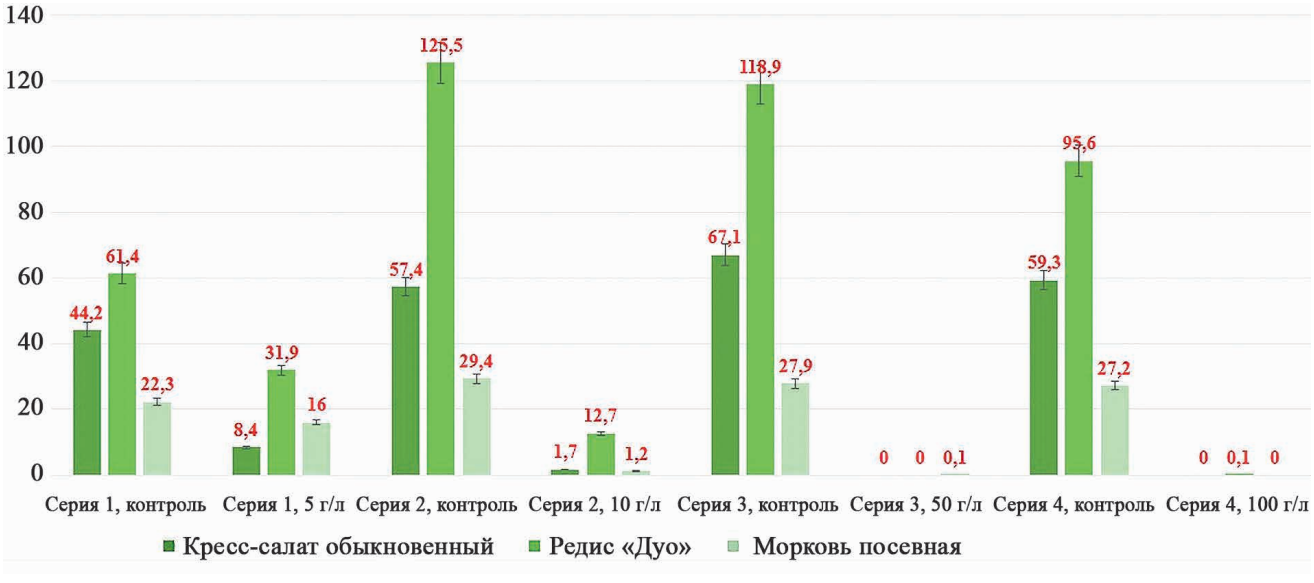


Рис. 3. Длина корней тест-объектов (мм), выросших на экстракте из компоста *A. negundo* (*а*) в сравнении с экстрактом некомпостированной листовой массы (*б*)

Fig. 3. Root length of test objects (mm) grown on *A. negundo* compost extract (*a*), compared to non-composted leaves extract (*b*)

Влияние экстрактов на длину гипокотиля проростков. Развитие гипокотиля на фоне экстракта из компоста клена демонстрирует следующие закономерности (рис. 5*а*): при концентрациях 5 и 10 г/л ингибирование отсутствует, наблюдаются только нейтральный (у кресс-салата и моркови) и стимулирующий (у редиса) эффекты. При 50 г/л происходит ингибирование роста гипокотилей кресс-салата, для редиса и моркови эффект не изменяется. При 100 г/л наблюдается ингибирование кресс-салата и нейтральный эффект у редиса и моркови. При сравнении картин влияния на длину гипокотилей (рис. 5) видны те же закономерности, что и в аналогичном эксперименте по длине корешков проростков: аллелопатические свойства у компоста *A. negundo* гораздо ниже, чем у некомпостированной фитомассы.

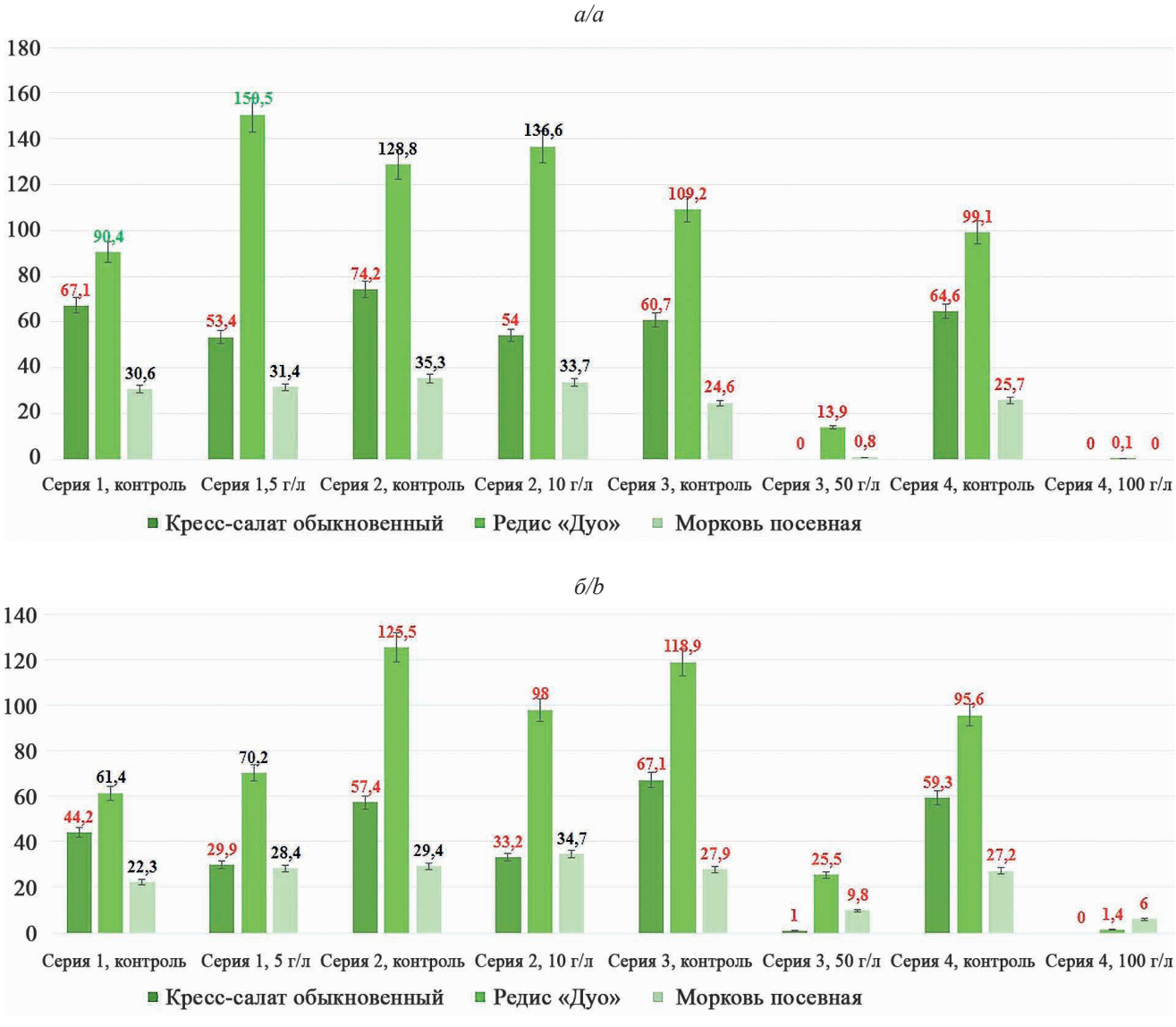


Рис. 4. Длина корней тест-объектов (мм), выросших на экстракте из компоста *R. pseudoacacia* (*а*) в сравнении с некомпостированной листовой массой (*б*)

Fig. 4. Root length of test objects (mm) grown on *R. pseudoacacia* compost extract (*a*), compared to non-composted leaves extract (*b*)

Экстракты из компоста робинии воздействовали следующим образом (рис. 6*а*): при концентрации 5 г/л происходит стимулирование роста гипокотилей у редиса; у кресс-салата и моркови наблюдается нейтральный эффект. При 10 г/л стимулирование сохраняется у редиса, также проявляется у кресс-салата, а для моркови эффект остается нейтральным. При концентрациях 50 и 100 г/л экстракты оказывают ингибирующий эффект на все тест-объекты, так же как и в опыте, учитывающем длину корешков проростков. Не наблюдалось существенных различий в паттернах воздействия экстрактов из компостированной и некомпостированной фитомассы (рис. 5*б*).

Для получения готового компоста из листьев при пассивном компостировании (без перемешивания) в умеренном климате требуется в среднем 2 года [33]. Учитывая период и условия компостирования в нашем эксперименте, готовность компоста была частичной.

В качестве рабочей гипотезы мы допустили, что компост теряет часть своих аллелопатически активных веществ по сравнению с некомпостированной фитомассой. Это подтверждается результатами экспериментов, полученными для *A. negundo*: снижение или потеря активности наиболее заметна при концентрациях экстракта 10, 50 и 100 г/л. В публикациях отмечается, что водорастворимые фитотоксины вымываются из растительных остатков в почву, и этот процесс идет параллельно с разрушеним фитомассы [30] и химического разрушения самих фитотоксинов [31].

В то же время выбранная рабочая гипотеза не была подтверждена на модели листьев робинии, прошедших одногодичное компостирование, где фитотоксичность осталась на прежнем уровне, либо даже

усилилась. Известно [29], что в ходе разложения растительных остатков могут образовываться новые аллелопатически активные вещества. Они также имеют ограниченный срок существования в окружающей среде, поэтому решением вопроса может быть более длительное компостирование.

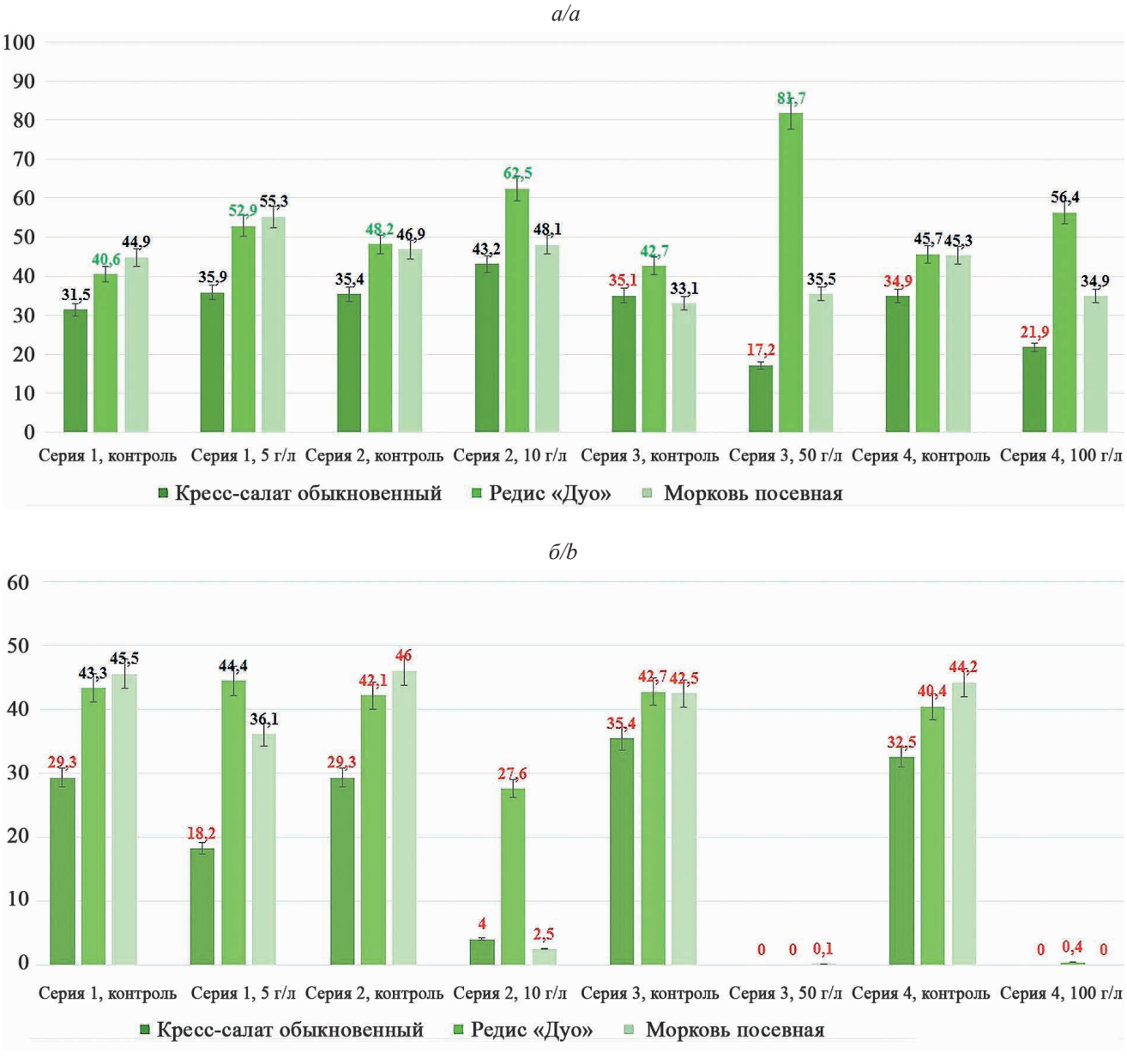


Рис. 5. Длина гипокотилей тест-объектов (мм), выросших на экстракте из компоста *A. negundo* (*а*) в сравнении с некомпостированной листовой массой (*б*)

Fig. 5. The length of hypocotyls of test objects (mm) grown on *A. negundo* compost extract (*a*), compared to non-composted leaves extract (*b*)

По полученным нами данным *in vitro*, вытяжка из одногодичного листового компоста *A. negundo* не вызывает полного ингибирования развития проростков; в основном проявлялся нейтральный, а в некоторых случаях – стимулирующий эффект. Это аргументирует возможное использование такого компоста под культурными растениями после проведения дополнительных полевых экспериментов и вовлечения большего количества тест-культур. Частично разложившийся компост также может быть использован как натуральная мульча.

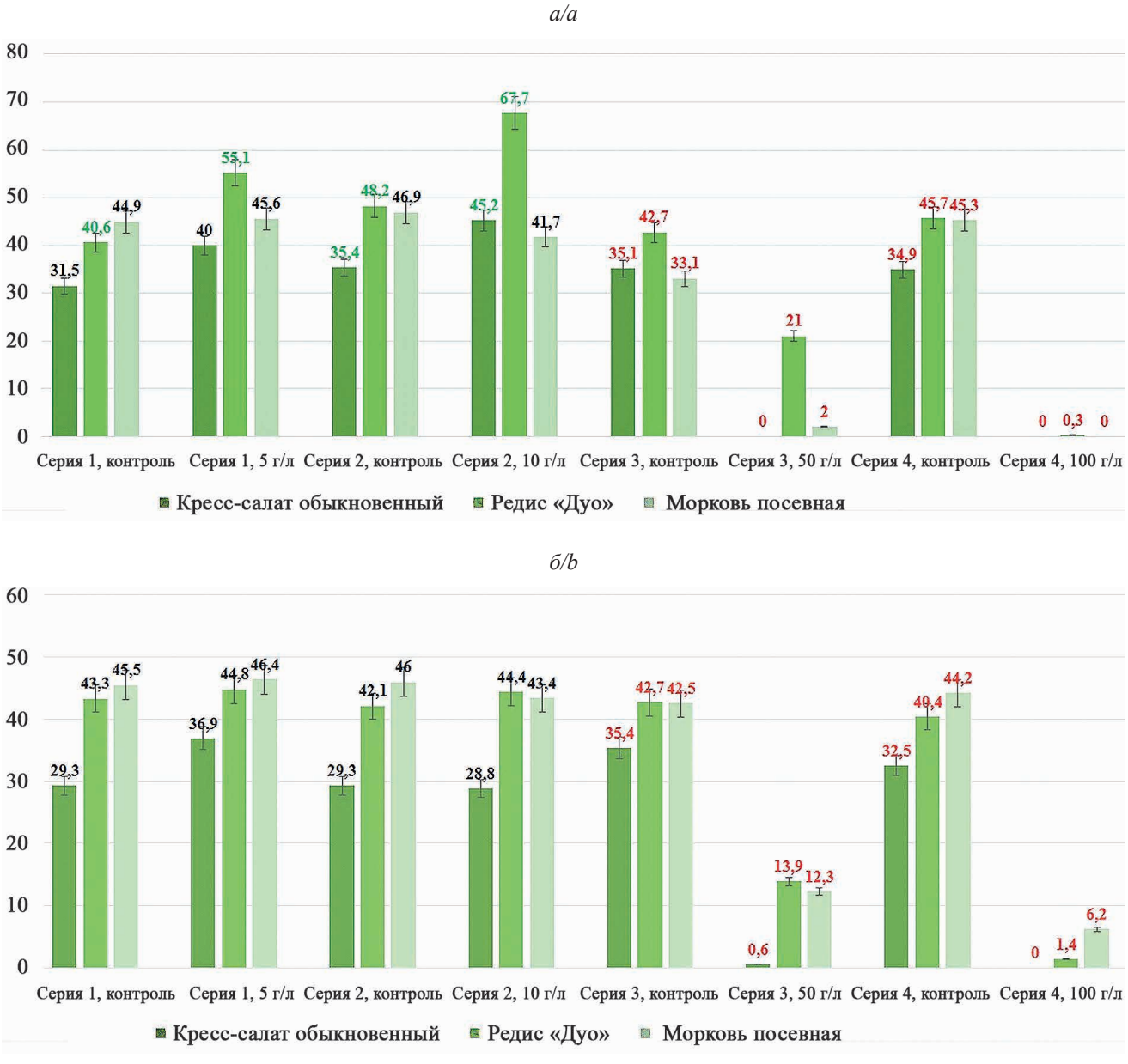


Рис. 6. Длина гипокотилей тест-объектов (мм), выросших на экстракте из компоста *R. pseudoacacia* (*а*) в сравнении с некомпостированной листовой массой (*б*)

Fig. 6. The length of hypocotyls of test objects (mm) grown on *R. pseudoacacia* compost extract (*a*), compared to non-composted leaves extract (*b*)

Наибольший интерес представляют результаты, показывающие стимулирующий эффект вытяжки из компоста как *A. negundo*, так и *R. pseudoacacia*. В табл. представлена статистическая обработка таких результатов на основе *t*-критерия Стьюдента при сравнении средних арифметических для контрольных и опытных образцов. Все значения t-критерия статистически достоверны ($p < 0,05$). Стимулирующие эффекты были характерны преимущественно для редиса и при более низких концентрациях экстракта (5, 10, в одном случае – 50 г/л), полученного исключительно из компоста. Стимулирование было наиболее заметно в отношении длины гипокотилей.

Стимулирующее действие экстрактов из компостированной листовой массы инвазионных видов на развитие проростков тест-культур

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

Тест-объект, концентрация сырья при экстрагировании, источник сырья	Средние значения		Значение *t*-критерия Стьюдента при сравнении средних	*p*
	контроль	опыт		
Длина корешка растений, мм				
Редис «Дуо», 5 г/л, *A. negundo*	90,4	168,1	4,83	0,00001
Редис «Дуо», 5 г/л, *R. pseudoacacia*	90,4	150,5	3,83	0,0003
Длина гипокотилей растений, мм				
Редис «Дуо», 5 г/л, *A. negundo*	40,6	52,9	2,57	0,01
Редис «Дуо», 10 г/л, *A. negundo*	48,2	62,5	3,11	0,003
Редис «Дуо», 50 г/л, *A. negundo*	42,7	81,7	6,39	0,00
Редис «Дуо», 5 г/л, *R. pseudoacacia*	40,6	55,1	2,51	0,02
Кресс-салат, 10 г/л, *R. pseudoacacia*	35,4	45,2	2,32	0,02
Редис «Дуо», 10 г/л, *R. pseudoacacia*	48,2	67,7	4,05	0,0002

Заключение

Проанализировав результаты исследования, мы пришли к следующим выводам:

1. Аэробное пассивное компостирование зеленых листьев *A. negundo* в течение приблизительно одного года позволяет значительно снизить фитотоксичность данной фитомассы для возможного последующего применения компоста как удобрения или мульчи. Снижение ингибирующих свойств экстракта из компоста по сравнению с экстрактом из некомпостированных листьев установлено на индикаторном развитии *in vitro* проростков кресс-салата, редиса и моркови по всем трем изученным показателям: количеству проросших семян, длине корня, длине гипокотиля. В частности, на фоне экстракта 50 г/л прорастание семян моркови составляло 3,7 % для некомпостированных листьев и 112 % к контролю для компоста.

2. Экстракт из компостированных тем же способом листьев *R. pseudoacacia* показал неизменность или усиление ингибирующих аллелопатических свойств по сравнению с экстрактом из некомпостированных листьев. Экстракт из компоста (1) в высоких концентрациях примерно в той же степени, как и экстракт из фитомассы до компостирования (2), подавлял рост корня и гипокотиля. Экстракт 1 сильнее подавлял прорастание семян, чем экстракт 2.

3. Эстракты из компоста *R. pseudoacacia* показывали увеличение ингибирующего действия на развитие проростков по мере увеличения концентрации от 5 до 100 г/л. Для эстрактов из компоста *A. negundo* такая закономерность слабо прослеживалась.

4. В отдельных случаях вытяжки из компоста имели стимулирующий эффект на развитие проростков: экстракты из клена и робинии 5 г/л вызывали удлинение корешка у проростков редиса в 1,7–1,9 раза; экстракты из клена 5–50 г/л вызывали удлинение гипокотиля у редиса в 1,3–1,9 раза; экстракты из робинии 5–10 г/л вызывали удлинение гипокотиля у редиса в 1,4 раза и аналогичный экстракт 10 г/л вызывал удлинение гипокотиля у кресс-салата в 1,3 раза. Для экстрактов из некомпостированной фитомассы случаев стимулирования выявлено не было.

5. Разные культуры по-разному чувствительны к воздействию аллелохимических веществ компоста. В частности, экстракт из компоста *A. negundo* оказывал ингибирующее воздействие на длину корешка кресс-салата во всех вариантах, тогда как для редиса выявлен только нейтральный и стимулирующий эффекты; экстракт из компоста клена стимулировал развитие гипокотиля только у редиса, а ингибировал только у кресс-салата. Экстракт из компоста *R. pseudoacacia* 50 г/л снижал всхожесть кресс-салата до 0 %, а редиса – до 58,6 %.

Библиографические ссылки

1. Randall JM, Marinelli J, editors. Invasive plants: Weeds of the global garden. New York: Brooklin Botanic Garden; 1996. 111 p.

2. Pyšek P, Jarošík V, Hulme PE, et al. A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment. *Global Change Biology*. 2012;18:1725–1737.

3. Weidlich EWA, Flórido FG, Sorrini TB, Brancalion PHS. Controlling invasive plant species in ecological restoration: A global review. *Journal of Applied Ecology*. 2020;57:1806–1817.

4. Дубовик ДВ, Лебедько ВН, Парфенов ВИ, и др. *Растения-агрессоры. Инвазионные виды на территории Беларуси*. Минск: Беларуская Энцыклапедыя імя Петруся Броўкі; 2017. 192 с.

5. Дубовик ДВ, Дмитриева СА, Ламан НА, и др. *Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения*. Минск: Беларуская навука; 2020. 407 с.

6. Maeglin RR, Ohmann LF. Boxelder (*Acer negundo*): A review and commentary. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 1973;100(6):357–363.

7. Ednich EM, Chernyavskaya IV, Tolstikova TN, Chitao SI. Biology of the invasive ipecies *Acer negundo* L. in the conditions of the north-west Caucasus foothills. *Indian Journal of Science and Technology*. 2015;8(30):85426.

8. Camenen E, Porté AJ, Garzón MB. American trees shift their niches when invading Western Europe: evaluating invasion risks in a changing climate. *Ecology and Evolution*. 2016;6(20):7263–7275.

9. Виноградова ЮК, Куприянов АН, редакторы. *Черная книга флоры Сибири*. Новосибирск: ГЕО; 2016. 440 с.

10. Kolyada NA, Kolyada AS. Occurrence of potentially invasive species box elder (*Acer negundo* L.) in the south of the Russian Far East. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2017;8:41–44.

11. Kanwar K, Bhardwaj A, Deepika R, Sharma DR. *Robinia pseudoacacia* Linn. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*. 2007;1(1):74–80.

12. Cierjacks A, Kowarik I, Joshi J, et al. Biological Flora of the British Isles: *Robinia pseudoacacia*. *Journal of Ecology*. 2013;101:1623–1640.

13. Martin GD. Addressing geographical bias: A review of *Robinia pseudoacacia* (black locust) in the Southern Hemisphere. *South African Journal of Botany*. 2019;125:481–492.

14. Nicolescu VN, Rédei K, Mason WL, et al. Ecology, growth and management of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), a non-native species integrated into European forests. *Journal of Forestry Research*. 2020;31(4):1081–1101.

15. Nikolaeva AA, Golosova EV, Shelepova OV. Methods of combating *Acer negundo* L. in specially protected natural areas. *BIO Web of Conferences*. 2020;24:00063.

16. 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.

17. Inderjit, Dakshini KMM. On laboratory bioassays in allelopathy. *The Botanical Review*. 1995;61(1):28–44.

18. Haugland E, Brandsaeter LO. Experiments on bioassay sensitivity in the study of allelopathy. *Journal of Chemical Ecology*. 1996;22(10):1845–1859.

19. Pellissier F. Improved germination bioassays for allelopathy research. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013;35:23–30.

20. Barral MT, Paradelo R. A review on the use of phytotoxicity as a compost quality indicator. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*. 2011;5(Special Issue 2):36–44.

21. Jagadabhi PS, Wani SP, Kaushal M, et al. Physico-chemical, microbial and phytotoxicity evaluation of composts from sorghum, fnger millet and soybean straws. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2019;8:279–293.

22. Rafikova OS, Veselkin DV. Leaf water extracts from invasive *Acer negundo* do not inhibit seed germination more than leaf extracts from native species. *Management of Biological Invasions*. 2022;13(4):705–723.

23. Csiszár Á. Allelopathic effects of invasive woody plant species in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. 2009;5:9–17.

24. Панасенко НН, Володин ВВ, Володченко ЮС, Холенко МС. Аллелопатические свойства *Acer negundo*. *Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований Брянского государственного университета*. Брянск: [б. и.]; 2018. с. 34–36.

25. Nikolaeva AA, Golosova EV, Shelepova OV. Allelopathic activity of *Acer negundo* L. leaf litter as a vector of invasion species into plant communities. *BIO Web of Conferences*. 2021;38:00088.

26. Цандекова ОЛ. Роль аллелопатического влияния *Acer negundo* L. на рост травянистых растений. *Вестник Нижневартовского государственного университета*. 2020;1:15–18.

27. Nasir H, Iqbal Z, Hiradate S, Fujii Y. Allelopathic potential of *Robinia pseudo-acacia* L. *Journal of Chemical Ecology*. 2005;31(9):2179–2192.

28. Bektić S, Huseinović S, Husanović J, Memić S. Allelopathic effects of extract *Robinia pseudoacacia* L. and *Chenopodium album* L. on germination of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2021;40(26):11–18.

29. Bross EL, Gold MA, Nguyen RV. Quality and decomposition of black locust (*Robinia pseudoacacia*) and alfalfa (*Medicago sativa*) mulch for temperate alley cropping systems. *Agroforestry Systems*. 1995;29:255–264.

30. Toai TV, Linscott DL. Phytotoxic effect of decaying quackgrass (*Agropyron repens*) residues. *Weed Science*. 1979; 27(6):595–598.

31. Xuan TD, Tawata S, Khanh TD, Chung IM. Decomposition of allelopathic plants in soil. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2005;191:162–171.

32. Bonanomi G, Sicurezza MG, Caporaso S, et al. Phytotoxicity dynamics of decaying plant materials. *New Phytologist*. 2006;169:571–578.

33. Rynk R, editor. On-farm composting handbook. New York: Plant and Life Sciences Publishing; 1992. 186 p.

References

1. Randall JM, Marinelli J, editors. Invasive plants: Weeds of the global garden. New York: Brooklin Botanic Garden; 1996. 111 p.

2. Pyšek P, Jarošík V, Hulme PE, et al. A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment. *Global Change Biology*. 2012;18:1725–1737.

3. Weidlich EWA, Flórido FG, Sorrini TB, Brancalion PHS. Controlling invasive plant species in ecological restoration: A global review. *Journal of Applied Ecology*. 2020;57:1806–1817.

4. Dubovik DV, Lebed'ko VN, Parfenov VI, et al. *Rasteniya-agressory. Invazionnye vidy na territorii Belarusi* [Aggressive plants. Invasive species on the territory of Belarus]. Minsk: Belaruskaya Entsyklapedyya imya Petrusya Broŭki; 2017. 192 p. Russian.

5. 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.

6. Maeglin RR, Ohmann LF. Boxelder (*Acer negundo*): A review and commentary. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 1973;100(6):357–363.

7. Ednich EM, Chernyavskaya IV, Tolstikova TN, Chitao SI. Biology of the invasive ipecies *Acer negundo* L. in the conditions of the north-west Caucasus foothills. *Indian Journal of Science and Technology*. 2015;8(30):85426.

8. Camenen E, Porté AJ, Garzón MB. American trees shift their niches when invading Western Europe: evaluating invasion risks in a changing climate. *Ecology and Evolution*. 2016;6(20):7263–7275.

9. Vinogradova YuK, Kupriyanov AN, editors. Chernaya kniga flory Sibiri [Black book of Siberian flora]. Novosibirsk: GEO; 2016. 440 p. Russian.

10. Kolyada NA, Kolyada AS. Occurrence of potentially invasive species box elder (*Acer negundo* L.) in the south of the Russian Far East. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2017;8:41–44.

11. Kanwar K, Bhardwaj A, Deepika R, Sharma DR. *Robinia pseudoacacia* Linn. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*. 2007;1(1):74–80.

12. Cierjacks A, Kowarik I, Joshi J, et al. Biological Flora of the British Isles: *Robinia pseudoacacia*. *Journal of Ecology*. 2013;101:1623–1640.

13. Martin GD. Addressing geographical bias: A review of *Robinia pseudoacacia* (black locust) in the Southern Hemisphere. *South African Journal of Botany*. 2019;125:481–492.

14. Nicolescu VN, Rédei K, Mason WL, et al. Ecology, growth and management of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), a non-native species integrated into European forests. *Journal of Forestry Research*. 2020;31(4):1081–1101.

15. Nikolaeva AA, Golosova EV, Shelepova OV. Methods of combating *Acer negundo* L. in specially protected natural areas. *BIO Web of Conferences*. 2020;24:00063.

16. Yakhnovets MN, Yurchenko EO. *Otsenka biologicheskoi aktivnosti ekstraktov iz list'ev Acer negundo i Robinia pseudoacacia na prorostkakh test-kul'tur* [Evaluation of the biological activity of the extracts from *Acer negundo* and *Robinia pseudoacacia* leaves on germinating seeds of test cultures]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* [Journal of the Belarusian State University. Ecology]. 2023;1:20–31. Russian.

17. Inderjit, Dakshini KMM. On laboratory bioassays in allelopathy. *The Botanical Review*. 1995;61(1):28–44.

18. Haugland E, Brandsaeter LO. Experiments on bioassay sensitivity in the study of allelopathy. *Journal of Chemical Ecology*. 1996;22(10):1845–1859.

19. Pellissier F. Improved germination bioassays for allelopathy research. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013;35:23–30.

20. Barral MT, Paradelo R. A review on the use of phytotoxicity as a compost quality indicator. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*. 2011;5(Special Issue 2):36–44.

21. Jagadabhi PS, Wani SP, Kaushal M, et al. Physico-chemical, microbial and phytotoxicity evaluation of composts from sorghum, finger millet and soybean straws. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2019;8:279–293.

22. Rafikova OS, Veselkin DV. Leaf water extracts from invasive *Acer negundo* do not inhibit seed germination more than leaf extracts from native species. *Management of Biological Invasions*. 2022;13(4):705–723.

23. Csiszár Á. Allelopathic effects of invasive woody plant species in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. 2009;5:9–17.

24. Panasenko NN, Volodin VV, Volodchenko YuS, Kholenko MS. *Allelopaticheskie svoistva Acer negundo* [Allelopathic properties of *Acer negundo*]. *Ezhegodnik NII fundamental'nykh i prikladnykh issledovanii Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Annals of the Research Institute for Fundamental and Applied Research of the Bryansk State University]. Briansk: [publisher unknown]; 2018. p. 34–36. Russian.

25. Nikolaeva AA, Golosova EV, Shelepova OV. Allelopathic activity of *Acer negundo* L. leaf litter as a vector of invasion species into plant communities. *BIO Web of Conferences*. 2021;38:00088.

26. Tsandekova OL. *Rol' allelopaticheskogo vliyaniya Acer negundo* L. *na rost travyanistykh rastenii* [The role of 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.

27. Nasir H, Iqbal Z, Hiradate S, Fujii Y. Allelopathic potential of *Robinia pseudo-acacia* L. *Journal of Chemical Ecology*. 2005;31(9):2179–2192.

28. Bektić S, Huseinović S, Husanović J, Memić S. Allelopathic effects of extract *Robinia pseudoacacia* L. and *Chenopodium album* L. on germination of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2021;40(26):11–18.

29. Bross EL, Gold MA, Nguyen RV. Quality and decomposition of black locust (*Robinia pseudoacacia*) and alfalfa (*Medicago sativa*) mulch for temperate alley cropping systems. *Agroforestry Systems*. 1995;29:255–264.

30. Toai TV, Linscott DL. Phytotoxic effect of decaying quackgrass (*Agropyron repens*) residues. *Weed Science*. 1979; 27(6):595–598.

31. Xuan TD, Tawata S, Khanh TD, Chung IM. Decomposition of allelopathic plants in soil. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2005;191:162–171.

32. Bonanomi G, Sicurezza MG, Caporaso S, et al. Phytotoxicity dynamics of decaying plant materials. *New Phytologist*. 2006;169:571–578.

33. Rynk R, editor. On-farm composting handbook. New York: Plant and Life Sciences Publishing; 1992. 186 p.

Статья поступила в редколлегию 25.07.2023.
Received by editorial board 25.07.2023.