

Оценка применимости почвогрунтов, произведённых из твёрдых отходов для выращивания лекарственных растений

© 2023. Т. С. Дроганова¹, ст. преподаватель,

Л. В. Поликарпова¹, н. с., М. А. Севостьянов², к. т. н.,
руководитель центра, А. А. Мазуркевич¹, магистрант,

¹Государственный университет просвещения,

141014, Россия, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24,

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,
43050, Россия, г. Одинцово, р. п. Большие Вязёмы, ул. Институт, д. 5,

e-mail: ecolab@mgu.ru

Производство почвогрунтов – продуктов твёрдофазного ферментирования твёрдых бытовых отходов является одним из основных направлений переработки отходов мегаполисов, содержащих органические вещества, и является «зелёной» альтернативой их сжиганию или захоронению. В работе исследована возможность применения искусственных почвогрунтов – продуктов аэробного твёрдофазного ферментирования отходов – для выращивания лекарственных растений чабера горного (*Satureja montana* L.), базилика обыкновенного (*Ocimum basilikum* L.), алтея лекарственного (*Althaea officinalis* L.), душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.). Выявлено, что оптимальная всхожесть растений проявляется на почвогрунтах «Klasmann Substrates Select» и «Grunt ECO Питательный» и сравнима с контрольной почвой полевого севооборота. Показано изменение биохимических параметров растений (активности ферментов и содержания хлорофилла), выращиваемых на почвогрунтах, в норме, при действии тяжёлых металлов и при пониженной температуре. Отмечено высокое содержание хлорофилла у всех исследованных растений, однако у чабера горного, выращенного на субстрате «Veltorf», выявлены деструктивные явления, выражающиеся в снижении содержания хлорофилла *a* с одновременным повышением содержания хлорофилла *b*. Активность ферментов каталазы и кислой фосфатазы у исследованных растений находится в пределах нормы. Действие неблагоприятных факторов – пониженной температуры и тяжёлых металлов приводит к повышению активности ферментов, что является признаком формирования адаптации. При оценке всхожести растений различных видов и их биохимических показателей установлено, что отечественный почвогрунт компании «Grunt ECO» оптимален для выращивания лекарственных растений и может быть использован для целей лекарственного растениеводства.

Ключевые слова: почвогрунт, компостирование, лекарственные растения, всхожесть, биохимические показатели, кислая фосфатаза, каталаза, хлорофилл.

Assessment of the possibility of using solid waste compost for growing medicinal plants

© 2023. T. S. Droganova¹ ORCID: 0000-0002-8917-7392² L. V. Polikarpova¹ ORCID: 0000-0002-5459-3054²

M. A. Sevostyanov² ORCID: 0000-0003-2652-8711² A. A. Mazurkevich¹ ORCID: 0009-0003-3237-8454²

¹State University of Education,

24, Very Voloshinoy St., Mytishchi, Russia, 141014,

²All-Russian Research Institute of Phytopathology,

5, Institute St., Odintsovo, Bolshiye Vyazyomy, Russia, 143050,

e-mail: ecolab@mgu.ru

The production of artificial soils – products of solid-phase fermentation of municipal solid waste – is one of the main areas of processing waste from megacities containing organic substances and is a “green” alternative to their incineration or burial. The possibility of using products of solid-phase fermentation of waste for growing medicinal plants was studied using the examples of mountain savory (*Satureja montana* L.), common basil (*Ocimum basilikum* L.), marshmallow (*Althaea officinalis* L.), oregano (*Origanum vulgare* L.). It was revealed that the optimal germination of plants occurs on the artificial soils “Klasmann Substrates Select” and “Grunt ECO” and it is comparable to the control soil of field crop rotation. The changes in the biochemical parameters of plants (enzyme activity, chlorophyll content) grown on soils under normal conditions, under the influence of heavy metals and at low temperatures are shown. High chlorophyll content was noted in all studied plants, however, in mountain savory grown on the “Veltorf” substrate, destructive phenomena were

revealed, expressed in a decrease in the content of chlorophyll *a* with a simultaneous increase in the content of chlorophyll *b*. The activity of catalase and acid phosphatase enzymes in the studied plants is within normal limits. The effect of unfavorable factors – low temperature and heavy metals – leads to an increase in enzyme activity, which is a sign of the formation of adaptation. When assessing the germination of plants of various species and their biochemical parameters, it was found that the domestic soil of the Grunt ECO company is optimal for growing medicinal plants and can be used for medicinal plant growing purposes.

Keywords: artificial soils, composting, medicinal plants, germination, biochemical parameters, acid phosphatase, catalase, chlorophyll.

Производство почвогрунтов – продуктов твёрдофазного ферментирования твёрдых бытовых отходов является одним из основных направлений создания технологий замкнутого цикла с низким выбросом парниковых газов. Внедрение таких технологий определено в Указе Президента Российской Федерации от 4 ноября 2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» и постановлении Правительства РФ «О Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». Почвогрунты, полученные в результате переработки отходов, используют в различных целях, среди которых сельскохозяйственное производство, садово-парковое использование и ремедиационные мероприятия.

Производство почвогрунтов из пищевых отходов, отходов сельскохозяйственных и деревообрабатывающих производств, а также целлюлозно-бумажных отходов является «зелёной» альтернативой их сжиганию или захоронению [1]. Методы и приёмы получения почвогрунтов имеют общий характер и сводятся к нескольким основным процессам. Одним из самых простых, но не самых привлекательных с точки зрения потребительских свойств, является простое смешивание, дробление и просеивание компонентов почвосмесей. Более сложными и затратными являются биологические технологии, в которых органические отходы IV и V классов опасности предварительно подвергают биологической переработке и только после этого смешивают с неорганическими компонентами. Технологии, реализующиеся на предприятиях по переработке отходов, как правило, являются коммерческой тайной, но некоторые сведения о реализованных технологиях получения почвогрунтов раскрываются производителями на своих сайтах [2–4].

Существенными преимуществами почвогрунтов, полученных при аэробной микробиологической ферментации, являются стерильность (отсутствие семян растений и патогенной микробиоты), высокая концентрация питательных веществ. Такие свойства почвогрунтов определяются высокой темпе-

ратурой протекания микробиологического процесса в условиях аэрации. Поскольку процесс окислительной деградации органических веществ является экзотермическим, то после мезофильной стадии начинается термофильная стадия, характеризующаяся повышением температуры до 55–75 °С, при которой происходит изменение микробного сообщества с мезофильного на термофильное, патогенные бактерии и грибы подавляются. Масса перерабатываемого органического вещества практически не изменяется, а в некоторых режимах может даже увеличиваться в результате образования множественных С-О связей при расщеплении биополимерных соединений [5].

Состав и свойства почвогрунтов зависят от используемых для ферментирования компонентов, и поэтому должна проводиться оценка применимости производимых субстратов. Таким образом, целью настоящей работы стало исследование применимости почвогрунтов, полученных в результате твёрдофазного ферментирования, для лекарственного растениеводства.

Объекты и методы исследования

Для оценки применимости почвогрунтов были выбраны лекарственные растения (ЛР), имеющие различные физиологические свойства: чабер горный (*Satureja montana* L.), базилик обыкновенный (*Ocimum basilicum* L.), алтей лекарственный (*Althaea officinalis* L.), душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.).

В качестве субстратов изучали: питательный почвогрунт «Grunt ECO», производство Россия; смесь торфяная «Veltoft», производство Россия; почвогрунт для выращивания рассады «Klasmann Substrates Select», производство Германия; контроль – нативная почва полевого севооборота (Рязанская область), координаты места отбора почвы 54,651296°, 39,543922°.

Состав субстратов охарактеризован в работе [6]. Исследуемые почвогрунты показали высокие значения потери при прокаливании (69–87%), характеризующие содержание

органического вещества, тогда как для нативной почвы полевого севооборота значение потери при прокаливании не превышает 10%. Изучаемые почвогрунты за исключением грунта «Klasmann Substrates Select», а также почва полевого севооборота характеризуются высокой обеспеченностью макроэлементами, в том числе K_2O и P_2O_5 . Концентрации редких и рассеянных элементов в исследуемых субстратах, приведённые в работе [6], ниже кларковых значений и пределов обнаружения использованных методов и не вызывают поводов для беспокойства с точки зрения оценки качества почвогрунтов.

Выращивание растений проводили в пластиковые ёмкостях. В них предварительно помещали субстраты массой 230 г, высушенные до воздушно-сухого состояния. В каждую ёмкость с исследуемым почвогрунтом высаживали по 15 семян ЛР. Предварительно перед посевом семена обрабатывали 0,1% раствором перманганата калия в течение 15 мин для обеззараживания и подсушивали.

Для прорастания семян ёмкости накрывали плёнкой. Первые 3 сут ёмкости с семенами выдерживали без дополнительного освещения. Далее для ускорения прорастания и последующего роста растений использовали подсветку светодиодными фитолампами LED-T5-9W (продолжительность подсветки: 16 ч; длина волны красного спектра (пиковое значение) – 650 нм; длина волны синего спектра (пиковое значение) – 450 нм; угол рассеивания света – 270°). В помещении поддерживали следующие параметры: температура 23 °С, относительная влажность воздуха 91%. Полив производили дистиллированной водой в объёме 50 см³ через сут.

За ростом и развитием исследуемых растений наблюдали на протяжении всего эксперимента (110 сут) и фиксировали изменения согласно общепринятым методикам, приведённым в руководстве [7].

С целью оценки защитных свойств исследуемых почвогрунтов было изучено влияние стресс-факторов на биохимические параметры ЛР. Исследовалось влияние пониженной температуры (8 ± 2 °С в течение 14 сут), а также тяжёлых металлов (ТМ), входящих в перечень приоритетных экотоксикантов, – свинца и ртути в концентрациях, соответствующих 10 ПДК_{почв.} (для свинца – 320,0 мг/кг, для ртути – 24,0 мг/кг) по СанПиН 1.2.3685-21. В первой группе металлы вносили в субстрат в форме разбавленных растворов государственных стандартных образцов ионов

ртути (II) и свинца 1 г/л, фон – азотная кислота 1М непосредственно при посеве растений, во второй группе – после появления всходов.

Исследование активности ферментов, содержания хлорофилла проводили с использованием свежего растительного материала. В условиях недостаточности растительного материала для проведения аналитической части работы исследование по определению концентрации хлорофилла (a , b , $a+b$) у растений, находящихся в условиях стресса, не производилось.

Исследование ферментативной активности проводили в белковых экстрактах, для приготовления которых навеску свежих измельчённых листьев массой 0,20–0,50 г (точная навеска) перетирала в ступке с 2-кратным к массе растительного материала объёмом трис-НСI буфера, содержащего 20% сахарозы. Полученный гомогенат центрифугировали на рефрижераторной центрифуге «Eppendorf 5417 R» при 10000 об./мин и $t = 4$ °С в течение 45 мин, затем отбирали супернатант [8]. Перед исследованием полученные экстракты предварительно разводили в 10 раз. Для расчёта удельной активности ферментов в полученных экстрактах определяли концентрацию белка методом Лоури [9].

Активность каталазы определяли спектрофотометрически в соответствии с методикой [10]. Для спектрофотометрического определения использовали фотометр, изготовленный на базе микроконтроллера Arduino «Uno» со светодиодом в качестве источника излучения и фотодиодом – в качестве детектора, полученные данные контролировали на спектрофотометре ThermoScientific. За единицу активности фермента принимали изменение концентрации пероксида водорода в растворе за 1 мин в расчёте на 1 мг белка.

Активность кислой фосфатазы (КФ) определяли спектрофотометрически по скорости гидролиза модельного субстрата *n*-нитрофенилфосфата [11]. Количество фермента, которое катализирует образование 1 мкмоль *n*-нитрофенола за 1 минуту при 37 °С в расчёте на 1 мг белка, принимали за единицу активности фермента. Активность фермента выражали в международных единицах (МЕ).

Определение содержания хлорофилла в образцах растительных тканей проводили спектрофотометрически по методике [12].

Все исследования проводили в четырёх биологических и трёх аналитических повторностях. Результаты представлены в виде «среднее значение \pm стандартное отклонение».

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены данные по всхожести растений. Оптимальная всхожесть проявляется на почве полевого севооборота, а также на почвогрунтах «Klasmann Substrates Select» и «Grunt ЕСО Питательный».

В таблице 2 представлены данные по всхожести растений в условиях повреждающих факторов. По полученным данным, всхожесть лекарственных растений, выращиваемых на плодородном грунте компании «Grunt ЕСО», оказалась в целом несколько ниже, чем всхожесть растений на почве полевого севооборота. В варианте, где ТМ вносили до появления первых всходов, наблюдали наименьшую всхожесть.

В эксперименте, где ТМ вносили после появления всходов, растения погибли на третий день эксперимента.

Данные по содержанию хлорофилла в тканях растений, выращенных на различных субстратах, приведены в таблице 3.

Анализ показал, что у всех растений достигается достаточно высокое содержание хлорофилла *a* и *b*. Особенно это наблюдается у растений, выращенных на техногенном грунте «Grunt ЕСО Питательный». В растениях, выращенных на торфяном грунте («Veltorf»), наблюдаются деструктивные явления. При исследовании тканей чабера горного, выращенного на данном грунте, обнаружено повышенное содержание хлорофилла *b* в сравнении с хлорофиллом *a*. При снижении содержания хлорофилла *a* происходит увеличение синтеза хлорофилла *b*. Этот процесс адаптации частично компенсирует недостаток основного пигмента и позволяет растению нормально функционировать [13]. Кроме того, в вариан-

Таблица 1 / Table 1

Всхожесть лекарственных растений в нормальных условиях, %
Germination of medicinal plants under normal conditions, %

Растение Plant	Почвогрунт / Artificial soil			Почва полевого севооборота (контроль) Soil of field crop rotation (control)
	«Grunt ЕСО» питательный nutritious	«Veltorf» торфяной peat	Klasmann Substrates Select	
Чабер горный (<i>Satureja montana</i> L.)	81	56	68	83
Алтей лекарственный (<i>Althaea officinalis</i> L.)	73	42	59	70
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)	77	39	43	78
Бasilik обыкновенный (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	85	60	50	75

Примечание: для всех измерений погрешность не превышает 8% отн.
Note: for all measurements the error does not exceed 8% rel.

Таблица 2 / Table 2

Всхожесть лекарственных растений в условиях стресса, %
Germination of medicinal plants under stress, %

Растение Plant	Условия выращивания / Growing conditions							
	Контроль Control		Внесение Pb, Hg до появления всходов Application of Pb, Hg before germination		Внесение Pb, Hg после появления всходов Application of Pb, Hg after germination		Пониженная температура Low temperature	
	почвогрунт / artificial soil							
	1	2	1	2	1	2	1	2
Бasilik обыкновенный (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	62	78	43	40	35*	90*	45	80
Алтей лекарственный (<i>Althaea officinalis</i> L.)	53	97	38	55	68*	65*	45	85

Примечание: 1 – плодородный грунт, 2 – почва полевого севооборота; * – растения погибли в течение трёх сут после внесения в субстрат ТМ. Для всех измерений погрешность не превышает 8% отн.
Note: 1 – fertile soil, 2 – soil of field crop rotation; * – the plants died within 3 days after adding HM to the substrate. For all measurements the error does not exceed 8% rel.

Таблица 3 / Table 3

Концентрация хлорофилла в растительных тканях, мг/кг
Chlorophyll concentration in plant tissues, mg/kg

Растение Plant	Почвогрунт / Artificial soil									Почва полевого севооборота (контроль) Soil of field crop rotation (control)		
	«Grunt ECO» питательный nutritious			«Veltoft» торфяной peat			Klasmann Substrates Select					
	a	b	a+b	a	b	a+b	a	b	a+b	a	b	a+b
Чабер горный (<i>Satureja montana</i> L.)	1360 ±11	329 ±15	1690 ±8	933 ±12	1052 ±11	1985 ±17	785 ±17	271 ±6	1056 ±9	1156 ±11	506 ±7	1663 ±9
Алтей лекарственный (<i>Althaea officinalis</i> L.)	1328 ±13	320 ±16	1648 ±12	920 ±4	314 ±6	1235 ±11	1193 ±6	420 ±10	1613 ±14	1286 ±10	309 ±13	1596 ±18
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)	1364 ±14	350 ±5	1715 ±8	876 ±17	356 ±19	1233 ±11	611 ±6	409 ±14	1020 ±17	1177 ±5	465 ±9	1634 ±16
Бasilik обыкновенный (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	804 ±9	430 ±12	1234 ±11	403 ±9	229 ±12	633 ±17	737 ±7	224 ±15	962 ±7	576 ±14	238 ±20	859 ±16

Таблица 4 / Table 4

Удельная активность каталазы в нормальных условиях, МЕ/мг белка
Specific activity of catalase under normal conditions, U/mg protein

Растение Plant	Почвогрунт / Artificial soil			Почва полевого севооборота (контроль) Soil of field crop rotation (control)
	«Grunt ECO» питательный nutritious	«Veltoft» торфяной peat	Klasmann Substrates Select	
Чабер горный (<i>Satureja montana</i> L.)	0,039±0,001	0,019±0,001	0,024±0,003	0,031±0,002
Алтей лекарственный (<i>Althaea officinalis</i> L.)	0,017±0,003	0,030±0,002	0,034±0,002	0,032±0,001
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)	0,029±0,003	0,025±0,001	0,022±0,003	0,029±0,002
Бasilik обыкновенный (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	0,044±0,002	0,050±0,002	0,032±0,007	0,040±0,002

тах с базиликом обыкновенным наблюдаются пониженные концентрации хлорофиллов *a* и *b* (табл. 3).

Для характеристики изменений метаболизма была измерена удельная активность ферментов каталазы и КФ. В результате проведенного исследования были получены следующие значения активности каталазы (табл. 4, 5).

Во всех вариантах грунтов и по всем видам ЛР, значения активности каталазы невысоки, различия между группами не значимы. Функцией каталаз является снижение уровня пероксида водорода и окисление органических

соединений, которые образуются при стрессовых условиях для растения. Повышенная активность каталазы помогает растению справиться с этими стрессовыми условиями и минимизировать негативные последствия [14]. В связи с этим, низкая активность данного фермента свидетельствует об отсутствии метаболического стресса у растений и постоянстве гомеостаза в условиях произрастания.

В экспериментах, где ТМ вносили до появления всходов, удельная активность каталазы в целом повышена в 1,8–3,4 раза, что является логичным результатом контаминации. Существующие исследования указывают на

Таблица 5 / Table 5

Удельная активность каталазы в условиях стресса, МЕ/мг белка
Specific activity of catalase under stress, U/mg protein

Растение Plant	Условия выращивания / Growing conditions					
	Контроль Control		Внесение ТМ (Pb, Hg) до появления всходов Application of HM (Pb, Hg) before germination		Пониженная температура Low temperature	
	почвогрунт / artificial soil					
	1	2	1	2	1	2
Бasilicum обыкновенный (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	0,027± 0,002	0,030± 0,003	0,092± 0,007	0,054± 0,005	0,046± 0,003	0,039± 0,002
Алтей лекарственный (<i>Althaea officinalis</i> L.)	0,032± 0,003	0,027± 0,001	0,077± 0,005	0,089± 0,004	0,081± 0,004	0,079± 0,002

Примечание: 1 – плодородный грунт, 2 – почва полевого севооборота.
Note: 1 – fertile soil, 2 – soil of field crop rotation.

Таблица 6 / Table 6

Удельная активность кислой фосфатазы в нормальных условиях, МЕ/мг белка
Specific activity of acid phosphatase under normal conditions, U/mg protein

Растение Plant	Почвогрунт / Artificial soils			Почва полевого севооборота (контроль) Soil of field crop rotation (control)
	«Grunt ECO» питательный nutritious	«Veltorf» торфяной peat	Klasmann Substrates Select	
Чабер горный (<i>Satureja montana</i> L.)	0,042±0,005	0,059±0,003	0,009±0,005	0,059±0,002
Алтей лекарственный (<i>Althaea officinalis</i> L.)	0,025±0,005	0,110±0,002	1,208±0,001	0,039±0,001
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)	0,043±0,004	0,074±0,005	0,098±0,002	0,014±0,006
Бasilicum обыкновенный (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	0,136±0,009	0,130±0,007	1,671±0,002	0,052±0,009

Таблица 7 / Table 7

Удельная активность кислой фосфатазы в условиях стресса, МЕ/мг белка
Specific activity of acid phosphatase under stress, U/mg protein

Растение Plant	Условия выращивания / Growing conditions					
	Контроль Control		Внесение ТМ (Pb, Hg) до появления всходов Application of HM (Pb, Hg) before germination		Пониженная температура Low temperature	
	почвогрунт / artificial soil					
	1	2	1	2	1	2
Бasilicum обыкновенный (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	0,055 ±0,004	0,038 ±0,003	0,101 ±0,002	0,091 ±0,004	0,043 ±0,006	0,049 ±0,003
Алтей лекарственный (<i>Althaea officinalis</i> L.)	0,047 ±0,002	0,060 ±0,001	0,064 ±0,005	0,077 ±0,004	0,062 ±0,002	0,070 ±0,002

Примечание: 1 – плодородный грунт, 2 – почва полевого севооборота.
Note: 1 – fertile soil, 2 – soil of field crop rotation.

повышение активности каталазы растений при воздействии ТМ. Так, выявлено повышение активности каталазы в растениях риса при воздействии свинца, при этом токсическое действие ТМ для растения снижается [15]. Таким образом, у растений, выращенных на плодородном грунте, отмечаются более вы-

сокие значения активности каталазы, чем у растений, выращенных на почве полевого севооборота. Экспозиция растений при пониженной температуре также повлияла на метаболические процессы: удельная активность фермента повысилась в 1,4–3 раза по сравнению с контролем.

Увеличенная активность КФ (табл. 6, 7) свидетельствует, как правило, о дефиците фосфора в растительных тканях, поскольку этот фермент катализирует гидролиз фосфатов и является важным компонентом цикла фосфора.

Выявленная активность фермента КФ находится в пределах нормы, причём у растений, выращенных на питательном грунте (табл. 6), отмечена самая низкая активность КФ. Однако, активность КФ повышена в растениях, выращенных на почвогрунте «Klasmann Substrates Select».

При внесении ТМ в субстраты активность КФ в растениях повышается (табл. 7). Увеличение активности фермента и числа его множественных форм свидетельствуют о резистентности организма, которая характеризуется снижением скорости протекания гидролитических реакций и усилением процессов синтеза, в том числе белков. Таким образом, повышение активности КФ является одним из механизмов адаптации растений к стрессу, вызванному ТМ.

Понижение температуры воздуха и другие экологические факторы могут оказывать различное влияние на активность КФ у живых объектов [16–18], нами выявлено небольшое повышение активности фермента.

Заключение

Результаты, полученные при оценке всхожести и биохимических параметров (активности КФ, активности каталазы и концентрации хлорофилла) лекарственных растений на разных почвогрунтах, позволяют сделать заключение о пригодности использованных почвогрунтов для выращивания лекарственных растений. Оптимальным из исследованных почвогрунтов является техногенный питательный грунт компании «Grunt ECO», полученный методом твёрдофазной ферментации отходов IV и V классов опасности, который, по оценке, проведённой ранее [6], имеет наиболее высокое содержание питательных веществ в сравнении с остальными исследованными почвогрунтами.

При внесении в грунты свинца и ртути, а также при понижении температуры воздуха у лекарственных растений наблюдается устойчивая реакция стресса, сопровождающаяся увеличением активности ферментов – каталазы и КФ, что является признаками адаптации. Таким образом, исследованные почвогрунты в достаточной мере обеспечивают защиту растений от неблагоприятных воздействий.

Исследование выполнено в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, предусмотренного постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 № 218 по теме «Высокотехнологичное производство грунтов методами инновационной переработки отходов» (контракт № 075-11-2021-059 от «24» июня 2021 г., идентификатор государственного контракта 000000S407521QL90002).

При проведении исследования использовано приборно-методическое обеспечение на базе «Ардуино», разработанное в соответствии с государственным заданием (выполнение работ) № 073-00078-23-00 от 19.01.2023.

Литература

1. Глинушкин А.П., Свиридова Л.Л., Севостьянов М.А., Сычева И.И., Гришина Е.В. Почвогрунт: обзор методов получения и возможностей применения // Биотика. 2018. № 6. Вып. 25. С. 10–19.
2. ООО «Автодизель» [Электронный ресурс] <https://www.avtodizel.ru/grunt/> (Дата обращения: 23.08.2023).
3. ООО «Грунтофф» [Электронный ресурс] <https://gruntoff.ru/> (Дата обращения: 23.08.2023).
4. GRUNTECO [Электронный ресурс] <https://grunteco.com/ru/tekhнология/> (Дата обращения: 23.08.2023).
5. Неклюдов А.Д., Федотов Г.Н., Иванкин А.Н. Интенсификация процесса компостирования при помощи аэробных микроорганизмов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2008. Т. 44. № 1. С. 9–23.
6. Чепрасова А.С., Севостьянов М.А., Новикова Н.Г., Колкова А.А., Маршева А.В., Петренко Д.Б., Васильев Н.В. Оценка качества почвогрунтов и их компонентов по показателям содержания неорганических веществ // Агрехимический вестник. 2023. № 3. С. 70–74.
7. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М., 2011. 650 с.
8. Gilbert G.A., Knight J.D., Vance C.P., Allan D.L. Acid phosphatase activity in phosphorus-deficient white lupin roots // Plant, Cell and Environment. 1999. V. 22. No. 7. P. 801–810.
9. Lowry O.H., Rosenbrought N.J., Farr A.L., Rangel R.L. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent // Journal of Biological Chemistry. 1951. V. 193. No. 2. P. 265–275.
10. Sinha A.K. Colorimetric assay of catalase // Analytical Biochemistry. 1972. V. 47. No. 2. P. 389–394.
11. Andersch M.A., Szczypinski A.J. Use of P-nitrophenylphosphate as the substrate in determination of serum acid phosphatase // American Journal of Clinical Pathology. 1947. V. 17. No. 7. P. 571–574.
12. Barnes J.D., Balaguer L., Manrique E., Elvira S., Davison A.W. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in

lichens and higher plants // *Environmental and Experimental Botany*. 1992. V. 32. No. 2. P. 85–100.

13. Кунина В.А., Белоус О.Г. Состояние фотосинтетических пигментов листьев древесных растений в условиях городской среды // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия*. 2020. Т. 6 (72). № 2. С. 108–118.

14. Sharma I., Ahmad P. Catalase. Oxidative damage to plants // *Oxidative Damage to Plants* / Ed. P. Ahmad. Amsterdam: Elsevier, 2014. 131–148.

15. Verma S., Dubey R.S. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants // *Plant Science*. 2003. V. 164. No. 4. P. 645–655.

16. Иваченко Л.Е., Селихова О.А., Ала А.Я., Ала В.С. Влияние погодных условий выращивания на биохимический состав семян и морфологические показатели дикорастущей сои // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2011. № 4 (158). С. 67–72.

17. Козак Д.К., Иваченко Л.Е., Голохваст К.С. Изменение биохимических показателей сои в зависимости от условий выращивания // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2022. Т. 52. № 1. С. 16–24.

18. Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В., Коницев А.С. Белковые спектры печени живородки речной в норме и при интоксикации ионами свинца(II) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. № 3. С. 109–113.

References

1. Glinushkin A.P., Sviridova L.L., Sevostyanov M.A., Sycheva I.I., Grishina E.V. Artificial soil: overview of production methods and application possibilities // *Biotika*. 2018. No. 6 (25). P. 10–19 (in Russian).

2. “Avtodiezel” [Internet resource] <https://www.avtodiezel.ru/grunt/> (Accessed: 23.08.2023).

3. “Gruntoff” [Internet resource] <https://gruntoff.ru/> (Accessed: 23.08.2023).

4. GRUNTECO [Internet resource] <https://grunteco.com/ru/tehnologia/> (Accessed: 23.08.2023).

5. Neklyudov A.D., Fedotov G.N., Ivankin A.N. Intensification of the composting process using aerobic microorganisms (review) // *Applied biochemistry and microbiology*. 2008. V. 44. No. 1. P. 9–23.

6. Cheprasova A.S., Sevostyanov M.A., Novikova N.G., Kolkova A.A., Marsheva A.V., Petrenko D.B., Vasilev N.V. Assessment of the quality of soils and their components based on the content of inorganic substances // *Agrochemical Herald*. 2023. No. 3. P. 70–74 (in Russian). doi: 10.24412/1029-2551-2023-3-015

7. Litvinov S.S. Methodology of field experiment in vegetable growing. Moskva, 2011. 650 p. (in Russian).

8. Gilbert G.A., Knight J.D., Vance C.P., Allan D.L. Acid phosphatase activity in phosphorus-deficient white lupin roots // *Plant, Cell and Environment*. 1999. V. 22. No. 7. P. 801–810. doi: 10.1046/j.1365-3040.1999.00441.x

9. Lowry O.H., Rosenbrought N.J., Farr A.L., Rangel R.L. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent // *Journal of Biological Chemistry*. 1951. V. 193. No. 2. P. 265–275.

10. Sinha A.K. Colorimetric assay of catalase // *Analytical Biochemistry*. 1972. V. 47. No. 2. P. 389–394. doi: 10.1016/0003-2697(72)90132-7

11. Andersch M.A., Szczypinski A.J. Use of P-nitrophenylphosphate as the substrate in determination of serum acid phosphatase // *American Journal of Clinical Pathology*. 1947. V. 17. No. 7. P. 571–574. doi: 10.1093/ajcp/17.7_ts.571

12. Barnes J.D., Balaguer L., Manrique E., Elvira S., Davison A.W. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls *a* and *b* in lichens and higher plants // *Environmental and Experimental Botany*. 1992. V. 32 No. 2. P. 85–100. doi: 10.1016/0098-8472(92)90034-Y

13. Kunina V.A., Belous O.G. The state of photosynthetic pigments of leaves of woody plants in an urban environment // *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2020. V. 6 (72). No. 2. P. 108–118 (in Russian). doi: 10.37279/2413-1725-2020-6-2-108-118

14. Sharma I., Ahmad P. Catalase. Oxidative damage to plants // *Oxidative Damage to Plants* / Ed. P. Ahmad. Amsterdam: Elsevier, 2014. P. 131–148. doi: 10.1016/b978-0-12-799963-0.00004-6

15. Verma S., Dubey R.S. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants // *Plant Science*. 2003. V. 164. No. 4. P. 645–655. doi: 10.1016/s0168-9452(03)00022-0

16. Ivachenko L.E., Selikhova O.A., Ala A. Ya., Ala V.S. The influence of growing weather conditions on the biochemical composition of seeds and morphological parameters of wild soybeans // *Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences*. 2011. No. 4 (158). P. 67–72 (in Russian).

17. Kozak D.K., Ivachenko L.E., Golokhvast K.S. Changes in the biochemical parameters of soybeans depending on the growing conditions // *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2022. V. 52. No. 1. P. 16–24 (in Russian).

18. Droganova T.S., Polikarpova L.V., Konihev A.S. River snail liver protein spectrum in normal conditions and when intoxicated with lead(II) ions // *Theoretical and Applied Ecology*. 2019. No. 3. P. 109–113 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-109-113