

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-761

УДК 574.22



Научная статья

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ДОЗ СОЛОМЫ И НАВОЗА В СИСТЕМАХ С ЧЕРВЯМИ *Eisenia fetida* НА ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА РАСТЕНИЙ САЛАТА И КАЧЕСТВО СУБСТРАТА

*Т.И. Зюбанова, О.М. Минаева, Е.Е. Акимова,
М.Е. Кириллова, Н.Н. Терещенко*

Обоснование. В настоящее время увеличивается потребность в натуральной сельскохозяйственной продукции, что способствует развитию направления получения растительной продукции в условиях искусственных экосистем, функционирующих по принципам естественных ценозов, обладающих определенной гибкостью к возникающим стрессам. Органические остатки могут быть включены в составы биосфероподобных систем при наличии детритофагов и редуцентов, к которым относятся дождевые черви, повышающие продуктивность, экологическую устойчивость и саморегулирующую способность агроэкосистем.

Цель. Изучить влияние соотношения пшеничной соломы и навоза крупного рогатого скота в модельных системах с торфяным субстратом и компостными червями на продуктивность листового салата, параметры развития, агрохимический состав растений и субстратов и популяцию червей.

Материалы и методы. В лабораторных контролируемых условиях изучали влияние внесения органических отходов (пшеничной соломы и навоза в различных соотношениях) в торфяной субстрат при интродукции червей (*Eisenia fetida*) (10 шт./800 г субстрата) на растения салата (*Lactuca sativa* сорт Кредо). По окончании экспериментов измеряли высоту, площадь листовой поверхности,

сырую и сухую надземную массу растений, содержание фотосинтетических пигментов; проводили химический анализ субстратов и растительной массы; оценивали адаптационные способности червей по морфофункциональным показателям, рассчитывали их плодовитость и выход копролита; учитывали численность бактерий и микромицетов в субстратах, оценивали актуальную активность азотобактера. Все эксперименты проводили в трех независимых биологических повторностях. Данные, полученные в ходе экспериментов, обрабатывали с помощью пакета StatSoft STATISTICA 10.0.

Результаты. Внесение в субстрат соломы и навоза в присутствии популяции компостных червей способствовало увеличению продуктивности растений салата: возросла площадь съедобной поверхности, масса растений, повысилась содержание фотосинтетических пигментов; изменению в субстрате содержания подвижных форм основных биогенных элементов, значимому снижению содержания общего азота в тканях растений и накоплению фосфора и калия. Внесение пшеничной соломы и навоза в торфяной субстрат увеличивало репродуктивные показатели червей и выход копролита.

Заключение. Показана возможность получения растительной продукции и получения биомассы червей в искусственной экосистеме с разным соотношением соломы и навоза в торфяном субстрате.

Ключевые слова: *Eisenia fetida*; *Lactuca sativa*; органические отходы; микрокосмы; фотосинтез

Для цитирования: Зюбанова Т.И., Минаева О.М., Акимова Е.Е., Кириллова М.Е., Терещенко Н.Н. Влияние разных доз соломы и навоза в системах с червями *Eisenia fetida* на показатели роста растений салата и качество субстрата // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 70-92. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-761

Original article

EFFECT OF VARIOUS STRAW/MANURE RATIOS IN SYSTEMS WITH EARTHWORMS *Eisenia fetida* ON LETTUCE GROWTH PARAMETERS AND SUBSTRATE QUALITY

*T.I. Zyubanova, O.M. Minaeva, E.E. Akimova,
M.E. Kirillova, N.N. Tereshchenko*

Background. At present, there is an increase in demand for natural agricultural products, which is contributing to the development of plant production in

artificial ecosystems that function according to the principles of natural cenoses, with a certain flexibility to emerging stresses. Organic wastes can be incorporated into biosphere-like system compositions in the presence of decomposers, which include earthworms that increase the productivity, environmental sustainability, and self-regulating capacity of agroecosystems.

Purpose. The purpose of our research was to investigate the effect of wheat straw/ cattle manure ratios in model systems with peat substrate and earthworms on lettuce productivity and vegetative growth parameters, chemical composition of plants and substrates, as well as worm population.

Materials and methods. In laboratory experiments, we evaluated the effect of applying organic wastes (various wheat straw/cattle manure ratios) to peat substrate with introduced earthworms (*Eisenia fetida*) (10 individuals/800 g substrate) on lettuce (*Lactuca sativa* Credo cultivar lettuce plants). At the experiment's end, each plant's height, leaf area, aboveground biomass (fresh and dry), and photosynthetic pigment content were measured; chemical analysis of substrates and plant mass was carried out; worm adaptive capacity was evaluated according to morpho-functional characteristics; worm fecundity and coprolite output were calculated; the number of bacteria and micromycetes was counted, and *Azotobacter* activity was estimated. All experiments were performed in three independent biological replicates. Statistical analysis was performed using the application package Statistica 10.0 (StatSoft, USA).

Results. Incorporating of various straw/manure ratios into the substrate enhanced the productivity of lettuce plants: the edible surface area, plant weight and photosynthetic pigment content increased. This also contributed to a significant change in the content of mobile forms of major nutrients in the substrate, as well as to a significant reduction in total nitrogen in plant tissues, and the accumulation of phosphorus and potassium. The addition of wheat straw and manure increased worm reproductive performance and coprolite output.

Conclusions. The possibility of obtaining plant crop and earthworm biomass in an artificial ecosystem with various straw/ manure ratios in a peat substrate is shown.

Keywords: *Eisenia fetida*; *Lactuca sativa*; organic wastes; microcosm; photosynthesis

For citation. Zyubanova T.I., Minaeva O.M., Akimova E.E., Kirillova M.E., Tereshchenko N.N. Effect of Various Straw/Manure Ratios in Systems with Earthworms *Eisenia fetida* on Lettuce Growth Parameters and Substrate Quality. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 70-92. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-761

Введение

Рост народонаселения, изменение климата, возрастающие потребности в сельскохозяйственной продукции способствуют развитию различных искусственных систем для выращивания растений, такие как гидропонные теплицы, вертикальные фермы и др. [30]. Особый интерес представляют комплексы, функционирующие по принципам естественных экосистем в замкнутом или полужамкнутом цикле, поскольку сложившиеся многокомпонентные природные ценозы обладают высоким уровнем гибкости и толерантности к биотическим и абиотическим стрессам, благодаря эволюционно сложившимся механизмам взаимного регулирования процессов редукции и продукции. Подобные системы могут найти широкое применение, в регионах крайнего севера России, Арктики и космоса [5]. Конструирование таких комплексов невозможно без разработки научных основ создания частично замкнутых искусственных экосистем, сбалансированных по ключевым элементам круговорота вещества и энергии (т.е. процессов продукции органического вещества (фотосинтеза) и его редукции (минерализации)).

Деятельность человека включает большое количество разнообразных отходов, которые нужно перерабатывать и при этом желательно получать полезный продукт. К настоящему времени агроэкологическая целесообразность и экономическая эффективность использования в качестве удобрения побочной продукции растениеводства установлена научными исследованиями и подтверждается практическим опытом [7]. Утилизация растительных остатков особенно сложна в отношении малопитательных и трудно поддающихся разложению отходов, требующих дополнительных усилий по их переработке, таких как солома злаковых культур [18]. Ценность соломы как удобрения обусловлена прежде всего высоким содержанием в ней органических соединений (80–86 %), представленных моно- и полисахаридами, декстринами, белками, лигнином и др., которые при поступлении в почву подвергаются микробиологической трансформации, участвуют во всех этапах гумификации и служат материальной основой для формирования различных фракций гумусовых веществ [7]. Органические остатки могут быть включены в составы биосфероподобных систем при условии наличия активного звена редуцентов и детритофагов, к которым относятся дождевые черви. Дождевые черви играют важную роль в формировании плодородия почв. Благодаря высокой скорости поглощения пищи и локомоторной активности, черви модифицируют среду обитания, изменяя кинетику разнообразных почвенных процессов, прямо

или косвенно влияющих на рост растений [1]. Присутствие червей в субстратах способствует ускорению процессов минерализации органических остатков, улучшению роста, развития, продуктивности растений и качества производимой продукции [14, 22, 28]. Последнее возможно не только за счет увеличения содержания минеральных и органических веществ в растительной ткани, но и путем возрастания толерантности сельскохозяйственных культур к фитопатогенным микроорганизмам, которые могут вытесняться из почвоподобных субстратов естественной симбиотической микрофлорой червя, среди представителей которой отмечается наличие значительной доли антагонистов почвенных микромицетов [10]. Таким образом, использование технологичных видов люмбрицид позволяет повышать продуктивность, экологическую устойчивость и саморегулирующую способность агроэкосистем [6, 8].

Научная новизна данного исследования – возделывание сельскохозяйственных культур для получения продукции в искусственных экосистемах с одновременной переработкой органических отходов при непосредственном присутствии компстных червей среди корней растений, в отличии от стандартного разделения процессов вермикомпостирования и последующего получения урожая на произведенном биогумусе.

Цель исследования – изучить влияние разного соотношения пшеничной соломы и навоза крупного рогатого скота в модельных системах с торфяным субстратом и компстными червями на развитие растений салата, содержание пигментов фотосинтеза, химический состав растений и субстратов и популяцию червей.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования изучали растения салата (*Lactuca sativa* сорт Кредо), компстных червей (*Eisenia fetida*), органические отходы (пшеничная солома и навоз в различных соотношениях). В качестве основы субстрата использовали комплексный верховой сфагновый торф влажностью $80,0 \pm 1,0$ % и степенью разложения – 10–15 %. Агрохимический состав торфа (мг/100 г а.с.в.): рН (KCl) 7.2 ± 0.1 ; N-NH₄ $33.6 \pm 4,6$; N-NO₃ $154.6 \pm 23,1$, P₂O₅ $224,0 \pm 77.0$; K₂O 36.11 ± 86.6 .

Эксперименты проводили в лабораторных контролируемых условиях в непрозрачных пластиковых контейнерах объемом 2 л. Состав субстратов (%): торф (100), торф-солома-навоз (80-10-10), торф-солома-навоз

(80-5-15), торф-навоз (80-20), увлажняли до 80 % и выдерживали неделю при температуре 20...22 °С в темноте. Субстраты в течение этого времени перемешивали, увлажняли при необходимости (по весу), выдерживали в проветриваемом помещении в целях улучшения процессов аэробной ферментации [11]. Перед интродукцией субстратов червями проводили биотестирование: на поверхности субстрата распределяли по 10 особей, если они быстро углублялись в него, то субстрат считали пригодным для их жизнедеятельности. Интродукцию проводили из маточной популяции неполовозрелых особей компостных червей (общей массой $2,4 \pm 0,2$ г, 10 шт./800 г субстрата), и выдерживали неделю (время акклиматизации червей) при температуре 20...22 °С в темноте. Через неделю после запуска червей в субстрат высаживали проростки листового салата. Интенсивность освещения растений салата – 8 кЛк (87 мкмоль квантов / (м² сек) ФАР), источник света – люминесцентные лампы (белый теплый свет), с 12-часовым фотопериодом при 20...22 °С (дневные температуры) и 15...17 °С (ночные температуры). В течение эксперимента проводили полив контейнеров (до исходного веса): общая влажность субстратов поддерживалась на уровне 80–85 % путем периодического увлажнения. Продолжительность экспериментов – 64 суток при выращивании растений (общая – 78 суток).

Все результаты эксперимента учитывали по его завершению. У каждого растения измеряли высоту, площадь всей поверхности листьев, сырую и сухую надземную массу, содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически (Eppendorf BioSpectrometer® fluorescence, Германия) и рассчитывали по формулам Lichtenthaler and Wellburn [21]. Оценку адаптационных способностей червей осуществляли по морфофункциональным показателям: численности ювенильных и половозрелых особей, количеству коконов, приросту биомассы, рассчитывали плодовитость червей и выход копролита. Учет численности микроорганизмов в субстратах проводили классическими методами посева на плотные питательные среды: общей микробной – на ГРМ-агаре (20 г/л), микромицетов – на среде Чапека (50 г/л), актуальной активности азотобактера – на среде Эшби.

Агрохимический анализ субстратов включал определение аммония и нитратов (ГОСТ 27894.3-88 и ГОСТ 27894.4-88), соединений фосфора и калия (ГОСТ 27894.5-88 и ГОСТ 27894.6-88), рН солевой вытяжки (ГОСТ 11623-89), влажности (ГОСТ 11305-83). Химический анализ растительной массы включал анализ общего азота в растениях (ГОСТ 13496.4-93), об-

щего фосфора (ГОСТ 26657-97), общего калия (ГОСТ 30504-97). Данные анализы проводили сотрудники лабораторно-аналитического центра (ЛАЦ) СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН (г. Томск).

Все эксперименты проводили в трех независимых биологических повторностях. Каждая повторность включала 15 растений салата на вариант. Данные, полученные в ходе экспериментов, обрабатывали с помощью пакета StatSoft STATISTICA 10.0; данные представлены в виде средней арифметической величины с доверительным интервалом ($M \pm 95\% CI$) с учетом *t*-критерия Стьюдента для 95 % уровня значимости.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что черви могут стимулировать рост и развитие растений, что отражено в значительном количестве опубликованных работ [1, 14, 20] и способствуют увеличению содержания минеральных веществ в почвах и ее лучшей оструктуренности [9, 14, 28].

В наших экспериментах установлено, что замена части торфяного субстрата на пшеничную солому и навоз положительно сказалась на показателях растений салата и, в конечном счете, на их продуктивности (Таблица 1).

Таблица 1.

Показатели развития растений салата при внесении разных доз пшеничной соломы и навоза и интродукции червей в состав торфяного субстрата ($M \pm 95\% CI$)

Субстрат (солома/навоз)	Высота растения, см	Площадь листовой поверхности / растение, см ²	Масса сырая, г	Масса сухая, г	Продуктивность, кг/м ²
Контроль (0/0)	16,31±1,71	98,93±36,98	2,23±0,83	0,09±0,03	0,69±0,14
10/10	23,99±1,24*	218,62±47,64*	5,68±1,30*	0,26±0,06*	1,75±0,25*
5/15	21,33±2,73*	157,78±75,95	5,49±3,18*	0,16±0,08	1,31±0,14*
0/20	25,72±1,35*	275,48±50,55*	6,78±1,29*	0,27±0,05*	2,09±0,24*

Примечание: * – статистическая значимость отличий от контроля ($p < 0,05$).

Максимальные значения всех показателей развития и продуктивности салата отмечены при внесении в торфяной субстрат навоза (20 %): полезная площадь поверхности листьев увеличилась в 2,8 раза, продуктивность в 3 раза. Внесение пшеничной соломы и навоза (10/10) в субстрат способствовало увеличению съедобной поверхности в 2,2 раза и продуктивности салата в 2,5 раза. Внесение соломы и навоза в соотношении 5/15 также способствовало увеличению и зеленой массы, и продуктивности растений

салата, по сравнению с контролем, но в меньшей степени чем внесение компонентов в соотношении 10/10.

Не смотря на известный факт, что продукты распада пшеничной соломы оказывают негативное влияние на растения и их продуктивность [2, 7, 18] за счет образования недоокисленных веществ, солей уксусной, пропионовой и масляной кислот, а также накопления жирных кислот [27], в наших экспериментах не наблюдался негативный эффект на продуктивность растений салата и всей системы от внесения соломы в субстраты. Возможно, этот эффект нивелировало присутствие червей, которые играют важную роль в подготовке соломы к разложению микроорганизмами, а также реинтеграции накопленного в растительной биомассе углерода обратно в почву [25].

Способность поддерживать высокий уровень фотосинтетических пигментов является важным показателем физиологического состояния растения [4], поскольку фотосинтез является ключевым процессом от которого в конечном счете зависит урожайность растений. Экспериментально установлено, что только в субстратах с внесением соломы и навоза в соотношении 10/10 наблюдалось снижение содержания хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с контрольным вариантом (Таблица 2).

Таблица 2.

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях салата при внесении разных доз пшеничной соломы и навоза и интродукции червей в состав торфяного субстрата (M±95 % CI)

Субстрат (солома/навоз)	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Сумма хлорофиллов	Каротиноиды
Контроль	1,37±0,03	0,66±0,06	2,03±0,09	0,33±0,02
10/10	1,12±0,11*	0,58±0,14	1,69±0,21*	0,26±0,03*
5/15	1,48±0,17	1,04±0,39*	2,52±0,55	0,31±0,04
0/20	1,56±0,13*	0,99±0,13*	2,55±0,25*	0,33±0,02

В целом, увеличение количества пигментов в листьях растений может быть связано с прямым увеличением доступности основных биогенных элементов и микроэлементов в субстрате, которое происходит под влиянием как ферментных систем червей, чья популяция в условиях присутствия дополнительных субстратов значительно увеличивалась, так и ассоциированной с червями микрофлорой [14, 28]. Экскреты (слизь и копролиты) червей могут не только изменять подвижность в почве микроэлементов, но и быть их непосредственным источником [1]. В составе экскретов чер-

вей железо – доминирующий микроэлемент и вызываемое экскретами увеличение концентрации хлорофилла в листьях огурца в экспериментах Битюцкого с соавтр. [1] происходило исключительно вследствие поступления в побег данного элемента, таким образом, экскреты червей могут служить альтернативным источником железа для растений.

Внесение в субстрат отходов в виде пшеничной соломы и навоза способствовало значительному изменению в содержании подвижных форм основных биогенных элементов в субстрате: с увеличением дозы навоза в субстрате относительно соломы наблюдалось статистически значимое ($p < 0,05$) увеличение содержания аммонийного азота, фосфора и калия в растительной ткани на конец эксперимента (таблица 3).

Таблица 3.

Содержание подвижных форм основных биогенных элементов в субстрате салата при внесении разных доз пшеничной соломы и навоза и интродукции червей в состав торфяного субстрата ($M \pm 95\% CI$)

Субстрат (солома/навоз)	pH _{KCl}	Содержание подвижных форм элементов, мг/ 100 г а.с.в. субстрата			
		N-NH ₄	N-NO ₃	P ₂ O	K ₂ O
Контроль (0/0)	7,33±0,1	15,8±3,3	88,9±5,5	677,2±38,8	80,3±6,2
10/10	7,21±0,1*	27,9±4,3*	71,5±8,0*	934,5±51,1*	162,3±13,3*
5/15	7,24±0,1*	27,5±1,0*	63,1±4,3*	1179,7±79,3*	193,8±3,6*
0/20	7,02±0,1*	26,0±0,8*	91,5±6,4	1282,2±57,8*	157,1±1,0*

Примечание: * – статистическая значимость отличий от контроля ($p < 0,05$).

Внесение в торфяной субстрат пшеничной соломы и навоза способствовало значимому снижению содержания общего азота в тканях растений при этом увеличивалось накопление фосфора на 22–28 % и калия на 8–9 % (таблица 4).

Более высокое содержание общего азота в листьях растений салата может свидетельствовать и о большем содержании нитрат-ионов в тканях растений, что служит важным показателем качества продукции зеленных культур. Высокое содержание нитрат-ионов в тканях растений безвредно для них, но негативно влияет на организм человека, попадая в него с растительной пищей [3].

Исследования влияния различных отходов сельского хозяйства на популяции червей *E. fetida* представлены в ряде работ [9, 11, 13, 23, 24, 26, 27]. Suthar [26] демонстрирует данные о положительном влиянии включения в субстраты для культивирования как отходов животноводства в виде

навоза и помета, так и растительных остатков злаковых и овощных культур на численность червей. Органические отходы способствовали повышению не только питательной ценности, получаемого из этих субстратов биогумуса, но и плодovitости и набору биомассы червей. Viabani с соавторами [13] установили значительное снижение биомассы червей *E. fetida* и их общей численности по мере увеличения доли соломы в субстрате из разных видов навоза и пшеничной соломы. В экспериментах Шашуриной Е.А. с коллегами [11] установлено, что внесение в субстрат с почвой и илом соломы или опилок в соотношении 1:3 создавало благоприятные условия для роста и развития дождевых червей.

Таблица 4.

Содержание в биомассе растений салата основных биогенных элементов при внесении разных доз пшеничной соломы и навоза и интродукции червей в состав торфяного субстрата (M±95 % CI)

Субстрат (солома/навоз)	Содержание элементов, %		
	Общий азот	Общий фосфор	Общий калий
Контроль (0/0)	3,35±0,18	0,71±0,12	8,37±0,62
10/10	2,74±0,19*	0,87±0,10*	8,06±0,39
5/15	3,05±0,17*	0,97±0,12*	9,14±0,48*
0/20	3,05±0,15*	0,98±0,13*	9,03±0,44*

Примечание: * – статистическая значимость отличий от контроля ($p < 0,05$).

В проведенных нами экспериментах, показано, что на конец эксперимента все интродуцированные особи червей сохранились в модельных системах, что свидетельствует об удовлетворительных условиях их содержания. За период эксперимента черви не прибавили, но и не снизили биомассу, за исключением варианта с торфяным грунтом (контроль), но общее количество червей (половозрелых и ювенильных особей) и количество коконов на конец эксперимента значительно выше в вариантах с внесением отходов (таблица 5).

Внесение в торфяной субстрат соломы вместе с навозом не сказывалось отрицательно на репродуктивных показателях *E. fetida*, и незначительно уступало системам с добавлением в субстрат только навоза КРС (20 %). Количество червей в вариантах с добавлением соломы и навоза увеличилось по сравнению с исходной популяцией в 15–17 раз, а выход копролита, в варианте с заменой субстрата на солому/навоз (10/10), выше, чем во всех остальных вариантах. Копролит представляет собой

концентрированное органическое удобрение без запаха с высоким содержанием подвижных форм питательных элементов, биологически активных веществ и полезной микрофлоры [6]. В целом, замена торфа на равное количество пшеничной соломы и навоза способствовали созданию благоприятных условий: к моменту завершения эксперимента отродилось большое количество ювенильных особей, кроме того в субстрате обнаружено и значительное количество коконов, что в дальнейшем сыграет важную роль в более быстрой переработке оставшегося субстрата. Curry and Byrne [16] показали, что скорость разложения пшеничной соломы под влиянием дождевых червей была выше на 26–47 %. Опираясь на полученные экспериментальные данные и учитывая описанные в литературе закономерности и эффекты, *E. fetida* – многообещающий агент биологической переработки соломы.

Таблица 5.

Основные характеристики популяции червей *Eisenia fetida* при внесении разных доз пшеничной соломы и навоза в состав торфяного субстрата (M±95 % CI)

Субстрат (солома/навоз)	Общее количество червей, особей/кг субстрата	Количество коконов, шт./кг субстрата	Плодовитость взрослых особей, шт./червя	Выход копролита, г
Контроль (0/0)	14,2±2,7	2,1±1,0	0,4±0,1	47,1±1,4
10/10	150,8±10,1*	92,9±5,8*	18,5±5,5*	55,7±1,1*
5/15	152,1±25,1*	75,0±6,0*	17,2±6,5*	41,4±2,7*
0/20	172,5±4,6*	94,5±16,8*	20,4±4,8*	48,0±2,6

Как уже неоднократно упоминалось, микрофлора формируемых в присутствии дождевых червей субстратов оказывает значительное влияние на рост и развитие продуцентов в системе [10, 14, 17]. Известно, что микробная плотность и активность могут являться характеристикой биологической активности природных систем: чем данный параметр выше, тем интенсивнее и быстрее происходят процессы, связанные с трансформацией органических соединений в субстратах [25]. Влияние различных доз соломы пшеницы и навоза КРС на численность микроорганизмов в субстрате представлено в таблице 6.

Представленные данные показывают, что дополнительное внесение органики, способствует статистически значимому ($p < 0,05$) увеличению общего микробного числа микроорганизмов, а также численности микроорганизмов, кроме варианта с внесением только навоза КРС (20 %). Последнее

может быть связано с тем, что основной функцией микромицетов является разложение биологических полимеров, таких как целлюлоза и хитин, а более мобильные органические соединения (такие как низкомолекулярные углеводы и белки) быстрее вовлекаются в круговорот элементов благодаря бактериальной микрофлоре. Последнее утверждение также продемонстрировано полученными нами экспериментальными данными. Интересно отметить увеличение актуальной активности азотобактера в субстратах с дополнительным внесением органики в виде навоза на 17 % относительно контроля. Процесс азотфиксации является очень энергозатратным и микроорганизмы не будут переходить на активную азотфиксацию в случае достаточной концентрации доступного азота в органической и/или минеральной форме. С другой стороны, азотфиксация также возможна для богатых энергетическим углеродным субстратом в доступной для азотобактера форме. Поэтому увеличение актуальной активности азотобактера может служить как индикатором увеличения доступных форм углеродных соединений, так и недостатка доступных форм азота в субстрате [17].

Таблица 6.

Влияние различных доз соломы пшеницы и навоза КРС и интродукции червей на численность основных групп микроорганизмов в субстрате (M±95 % CI)

Субстрат (солома/навоз)	Общее микробное число, КОЕ / г а.с.в. субстрата	Микромицеты, КОЕ / г а.с.в. субстрата	Актуальная активность азотобактера, %
Контроль (0/0)	$6,2 \times 10^8 \pm 1,1 \times 10^8$	$7,1 \times 10^3 \pm 3,2 \times 10^3$	9,0±1,4
10/10	$8,1 \times 10^8 \pm 1,2 \times 10^8$ *	$3,1 \times 10^4 \pm 6,2 \times 10^3$ *	8,0±2,5
5/15	$7,3 \times 10^8 \pm 1,2 \times 10^8$	$1,2 \times 10^4 \pm 7,6 \times 10^3$	8,5±3,4
0/20	$8,7 \times 10^8 \pm 1,3 \times 10^8$ *	$8,0 \times 10^3 \pm 3,2 \times 10^3$	15,4±2,7*

Примечание: * – статистическая значимость отличий от контроля ($p < 0,05$).

Качество субстрата, получаемого при вермикюльтивировании, и микробная численность напрямую зависят от состава органических отходов в этом процессе [12]. Черви, пропуская субстрат через свою пищеварительную систему оказывают влияние на численность микроорганизмов, изменяя качественный и количественный состав, их активность и структуру [10, 14]. Показано, что благодаря деятельности червей возрастает количество нейтральной или полезной для растений микрофлоры, элиминируют колиморфные формы [15, 17]. Известно, что кишечник дождевого червя содержит более высокое количество легкодоступных органических соединений, что позволяет микроорганизмам, проходя через кишечник

червя, получать необходимое питание в достаточном количестве, быстро размножаться и в свою очередь синтезировать полезные для растений метаболиты, благодаря чему вокруг ризосферы растений формируется сообщество бактерий, стимулирующих рост и развитие растений за счет большого количества механизмов [15, 19].

В целом, увеличение численности микроорганизмов в готовом субстрате, играет положительную роль как при проведении совместного процесса культивирования и червей и растений на субстрате, так и при возможном многократном использовании образуемого в процессе культивирования субстрата для получения растительной продукции.

Выводы

Таким образом, показана возможность получения качественной растительной продукции в искусственной экосистеме в присутствии червей в субстрате без дополнительного внесения минеральных удобрений. При этом, замена части субстрата на пшеничную солому и навоз способствовала увеличению продуктивности растений салата, улучшению минерального питания растений и увеличению содержания ионов калия в готовой продукции. Кроме того, подобные системы оказывают эффективное действие и на репродуктивные показатели червей, что также играет важную роль и в процессе дальнейшей переработки субстратов и получения биомассы червей.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Финансирование. Работа выполнена в рамках тематики научных исследований Государственного задания СФНЦА РАН FNUU-2021-0005.

Funding. The work was carried out within the State Assignment of the Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences FNUU-2021-0005.

Список литературы

1. Битюцкий Н.П., Кайдун П.И. Влияние дождевых червей на подвижность микроэлементов в почве и их доступность растениям // Почвоведение. 2008. Т. 41, № 12. С. 1479-1486.

2. Величко В.В., Ушакова С.А., Трифонов С.В., Тихомиров А.А. Влияние физико-химической минерализации соломы на формирование урожая пшеницы при выращивании на почвоподобном субстрате // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53, № 3. С. 97-103. <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2019-53-3-97-103>
3. Головкин Т.Г., Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Табаленкова Г.Н., Захожий И.Г., Гармаш Е.В., Величко В.В. Продуктивность и биологическая ценность зеленных культур применительно к условиям биорегенеративных систем жизнеобеспечения // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2011. Вып. 1(5). С. 31-37.
4. Данилова Е.Д., Злобин И.Е., Кузнецов В.В., Ефимова М.В. Экзогенный мелатонин снижает токсическое действие полиметаллического стресса на растения ячменя // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. 2021. Т. 499, № 1. С. 348-353. <https://doi.org/10.31857/S2686738921040077>
5. Дегерменджи А.Г., Тихомиров А.А. Создание искусственных замкнутых экосистем земного и космического назначения // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84, № 3. С. 23-240.
6. Лящев А.А. Экологическая оценка популяции дождевых компостных червей // Аграрный вестник Урала. 2009. Т. 64, №10. С. 30-32.
7. Русакова И.В., Воробьев Н.И. Влияние биопрепарата Баркон на процесс гумификации соломы // Агрохимия. 2011. № 1. С. 48-55.
8. Сазонова И.А., Азизов И.Р., Яковлева Н.А. Оценка эффективности использования отходов грибоводства в процессах вермикультивирования и вермикомпостирования // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 44-47. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp44-47>
9. Терещенко Н.Н. Эколого-микробиологические аспекты вермикультивирования. Новосибирск, 2003. 116 с.
10. Терещенко Н.Н., Кравец А.В., Акимова Е.Е., Минаева О.М., Зотикова А.П. Эффективность применения микроорганизмов, изолированных из копролитов дождевых червей, для увеличения урожайности зерновых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2013. № 5. С. 10-17.
11. Шашурина Е.А., Поминчук Ю.А, Редькова Л.А. Биотестирование при определении пригодности илового субстрата для использования его в качестве удобрения // Вестник РГАТУ. 2019. Т. 42, № 2. С. 52-57.
12. Aasfar A., Bargaz A., Yaakoubi K., Hilali A., Bennis I., Zeroual Y., Kadmiri I.M. Nitrogen fixing *Azotobacter* species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability // Frontiers in Microbiology, 2021, no. 12, Article no. 628379. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>

13. Biabani A., Carpenter-Boggs L., Gholizadeh A., Vafaie-Tabar M., Omara M.O. Reproduction efficiency of *Eisenia foetida* and substrate changes during vermicomposting of organic materials // *Compost Science & Utilization*, 2018, vol. 26, no. 3, pp. 209-215. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2018.1463877>
14. Blouin M.A., Hodson M.E., Delgado E.A., Baker G., Brussaard L., Butt K.R., Dai J., Dendooven L., Peres G., Tondoh J.E., Cluzeau D., Brun J.-J. Review of earthworm impact on soil function and ecosystem services // *European Journal of Soil Science*, 2013, vol. 64, pp. 161-182. <https://doi.org/10.1111/ejss.12025>
15. Braga L., Yoshiura C., Borges C., Horn M.A., Brown G.G., Drake H.L., Tsai S.M. Disentangling the influence of earthworms in sugarcane rhizosphere // *Scientific Reports*, 2016, no. 6. Article no. 38923. <https://doi.org/10.1038/srep38923>
16. Curry J.P., Byrne D. The role of earthworms in straw decomposition and nitrogen turnover in arable land in Ireland // *Soil Biology and Biochemistry*, 1992, vol. 24, no 12, pp. 1409-1412. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90125-H](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90125-H)
17. Domínguez J., Aira M., Crandall K.A., Pérez-Losada M. Earthworms drastically change fungal and bacterial communities during vermicomposting of sewage sludge // *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, Article no. 15556. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95099-z>
18. Gorbunova A.Yu., Korobushkin D.I., Kostina N.V., Degtyarev M.I., Gongalsky K.B., Zaitsev A.S. Level of soil moisture determines the ability of *Eisenia foetida* to reincorporate carbon from decomposed rice straw into the soil // *European Journal of Soil Biology*, 2020, no. 99, Article no. 103209. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103209>
19. Jacquioud S., Puga-Freitas R., Spor A., Mounier A., Monard C., Mougél C., Philippot L., Blouin M. A core microbiota of the plant-earthworm interaction conserved across soils // *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, vol. 144, Article no 107754. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107754>
20. Jana U., Barot S., Blouin M., Lavelle P., Laffray D., Repellin A. Earthworms influence the production of above- and belowground biomass and the expression of genes involved in cell proliferation and stress responses in *Arabidopsis thaliana* // *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42, pp. 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.022>
21. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determination of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents // *Biochemical Society Transactions*, 1983, vol. 11, no. 5, pp. 591-592. <https://doi.org/10.1042/BST0110591>

22. Lirikum, Kakati L.N., Thyug L., Mozhui L. Vermicomposting: An eco-friendly approach for waste management and nutrient enhancement // *Tropical Ecology*, 2022, vol. 63, pp. 325-337. <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00212-y>
23. Ramnarain Y.I., Ansari A.A., Ori L. Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida* // *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2019, vol. 8, pp. 23-36. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
24. Sharma D., Prasad R., Patel B., Parashar C.K. Biotransformation of sludges from dairy and sugarcane industries through vermicomposting using the epigeic earthworm *Eisenia fetida* // *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2022, vol. 11, pp. 165-175. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2021.1922034.1196>
25. Sudkolai S.T., Nourbakhsh F. Urease activity as an index for assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicomposts // *Waste Management*, 2017, vol. 64, pp. 63-66. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.011>
26. Suthar S. Bioremediation of agricultural wastes through vermicomposting // *Bioremediation Journal*, 2009, vol. 13, no. 1, pp. 21-28. <https://doi.org/10.1080/10889860802690513>
27. Tang C.S., Weiss A.C. Short-chain fatty acids as growth inhibitors in decomposing wheat straw // *Journal of Chemical Ecology*, 1978, vol. 4, pp. 225-232. <https://doi.org/10.1007/BF00988057>
28. Van Groenigen J., Lubbers I., Vos H.M.J., Brown G.G., De Deyn G.B., van Groenigen K.J. Earthworms increase plant production: a meta-analysis // *Scientific Reports*, 2014, vol. 4, Article no. 6365. <https://doi.org/10.1038/srep06365>
29. Zaitsev A.S., Gorbunova A.Yu., Korobushkin D.I., Degtyarev M.I., Zhadova A.N., Kostina N.V., Gongalsky K.B. The earthworm species *Eisenia fetida* modulates greenhouse gas release and carbon stabilization after rice straw amendment to a paddy soil // *European Journal of Soil Biology*, 2018, vol. 89, pp. 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.10.003>
30. Zotov V.S., Bolychevtseva Y.V., Khapchaeva S.A., Terekhova I.V., Shubin V.V., Yurina N.P., Kulchin Yu.N. Effect of light quality on the biomass yield, photosystem 2 fluorescence, and the total essential oil content of *Ocimum basilicum* // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 336-343. <https://doi.org/10.1134/S0003683820030175>

References

1. Bityutskii N.P., Kaidun P.I. The influence of earthworms on the mobility of microelements in soil and their availability for plants. *Eurasian Soil Science*, 2008, vol. 41, no. 12, pp. 1306-1313. <https://doi.org/10.1134/S1064229308120089>

2. Velichko V.V., Ushakova S.A., Trifonov S.V., Tikhomirov A.A. Evaluation of the effect of straw physical-chemical mineralization on the yield of wheat grown on soil-like substrate. *Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina* (Russia), 2019, vol. 53, no 3, pp. 97-103.
3. Golovko T.K., Tikhomirov A.A., Ushakova S.A., Tabalenkova G.N., Zakhozhiy I.G., Garmash E.V., Velichko V.V. Productivity and nutrition value of leaf vegetables as applied to bioregenerative life-support systems. *Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2011, vol. 5, no. 1, pp. 31-37.
4. Danilova E.D., Kuznetsov V.V., Efimova M.V., Zlobin I.E. Exogenic melatonin reduces the toxic effect of polymetallic stress on barley plants. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2021, vol. 499, no. 1, pp. 228-232. <https://doi.org/10.1134/S1607672921040049>
5. Degermendzhi A.G., Tikhomirov A.A. Designing artificial closed land- and space-based ecosystems. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 84, no. 2, pp. 124-130. <https://doi.org/10.1134/S1019331614020026>
6. Ljashchev A.A. Ecological estimation of populations of earthworms for compost. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2009, vol. 64, no. 10, pp. 30-32.
7. Rusakova I.V., Vorobyev N.I. Effect of the biopreparation Barcon on the humification of straw. *Agrohimia*, 2011, no. 1, pp. 48-55.
8. Sazonova I.A., Azizov I.R., Yakovleva N.A. Estimation of the efficiency of use of waste from mushroom in the processes of vermiculture and vermicomposting. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], 2022, no. 4, pp. 44-47. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp44-47>
9. Tereshchenko N.N. *Ekologo-mikrobiologicheskiye aspekty vermikul'tivirovaniya* [Ecological and Microbiological Aspects of Vermiculture]. Novosibirsk, 2003, 116 p.
10. Tereshchenko N.N., Kravets A.V., Akimova E.E., Minayeva O.M., Zotikova A.P. Effectiveness of applying microorganisms isolated from earthworm coprolites in increasing yielding capacity of grain crops. *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2013, no. 5(234), pp. 10-17.
11. Shashurina E.A., Pominchuk Y.A., Redkova L.A. A bioassay in determining the suitability of silt substrate for use as fertilizer. *Vestnik RGATU*, 2019, vol. 42, no. 2, pp. 52-57.
12. Aasfar A., Bargaz A., Yaakoubi K., Hilali A., Bennis I., Zeroual Y., Kadmiri I.M. Nitrogen fixing *Azotobacter* species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in Microbiology*, 2021, no. 12, Article no. 628379. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>

13. Biabani A., Carpenter-Boggs L., Gholizadeh A., Vafaie-Tabar M., Omara M.O. Reproduction efficiency of *Eisenia foetida* and substrate changes during vermicomposting of organic materials. *Compost Science & Utilization*, 2018, vol. 26, no. 3. pp. 209-215. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2018.1463877>
14. Blouin M.A., Hodson M.E., Delgado E.A., Baker G., Brussaard L., Butt K.R., Dai J., Dendooven L., Peres G., Tondoh J.E., Cluzeau D., Brun J.-J. Review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, 2013, vol. 64, pp. 161-182. <https://doi.org/10.1111/ejss.12025>
15. Braga L., Yoshiura C., Borges C., Horn M.A., Brown G.G., Drake H.L., Tsai S.M. Disentangling the influence of earthworms in sugarcane rhizosphere. *Scientific Reports*, 2016, no. 6, Article no. 38923. <https://doi.org/10.1038/srep38923>
16. Curry J.P., Byrne D. The role of earthworms in straw decomposition and nitrogen turnover in arable land in Ireland. *Soil Biology and Biochemistry*, 1992, vol. 24, no. 12, pp. 1409-1412. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90125-H](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90125-H)
17. Domínguez J., Aira M., Crandall K.A., Pérez-Losada M. Earthworms drastically change fungal and bacterial communities during vermicomposting of sewage sludge. *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, Article no. 15556. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95099-z>
18. Gorbunova A.Yu., Korobushkin D.I., Kostina N.V., Degtyarev M.I., Gongalsky K.B., Zaitsev A.S. Level of soil moisture determines the ability of *Eisenia fetida* to reincorporate carbon from decomposed rice straw into the soil. *European Journal of Soil Biology*, 2020, no. 99, Article no. 103209. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103209>
19. Jacquioud S., Puga-Freitas R., Spor A., Mounier A., Monard C., Mougél C., Philippot L., Blouin M. A core microbiota of the plant-earthworm interaction conserved across soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, vol. 144, Article no 107754. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107754>
20. Jana U., Barot S., Blouin M., Lavelle P., Laffray D., Repellin A. Earthworms influence the production of above- and belowground biomass and the expression of genes involved in cell proliferation and stress responses in *Arabidopsis thaliana*. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42, pp. 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.022>
21. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determination of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 1983, vol. 11, no. 5, pp. 591-592. <https://doi.org/10.1042/BST0110591>
22. Lirikum, Kakati L.N., Thyug L., Mozhui L. Vermicomposting: An eco-friendly approach for waste management and nutrient enhancement. *Tropical Ecology*, 2022, vol. 63, pp. 325-337. <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00212-y>

23. Ramnarain Y.I., Ansari A.A., Ori L. Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2019, vol. 8, pp. 23-36. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
24. Sharma D., Prasad R., Patel B., Parashar C.K. Biotransformation of sludges from dairy and sugarcane industries through vermicomposting using the epigeic earthworm *Eisenia fetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2022, vol. 11, pp. 165-175. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2021.1922034.1196>
25. Sudkolai S.T., Nourbakhsh F. Urease activity as an index for assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicomposts. *Waste Management*, 2017, vol. 64, pp. 63-66. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.011>
26. Suthar S. Bioremediation of agricultural wastes through vermicomposting. *Bioremediation Journal*, 2009, vol. 13, no. 1, pp. 21-28. <https://doi.org/10.1080/10889860802690513>
27. Tang C.S., Weiss A.C. Short-chain fatty acids as growth inhibitors in decomposing wheat straw. *Journal of Chemical Ecology*, 1978, vol. 4, pp. 225-232. <https://doi.org/10.1007/BF00988057>
28. Van Groenigen J., Lubbers I., Vos H.M.J., Brown G.G., De Deyn G.B., van Groenigen K.J. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 2014, vol. 4, Article no. 6365. <https://doi.org/10.1038/srep06365>
29. Zaitsev A.S., Gorbunova A.Yu., Korobushkin D.I., Degtyarev M.I., Zhadova A.N., Kostina N.V., Gongalsky K.B. The earthworm species *Eisenia fetida* modulates greenhouse gas release and carbon stabilization after rice straw amendment to a paddy soil. *European Journal of Soil Biology*, 2018, vol. 89, pp. 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.10.003>
30. Zotov V.S., Bolychevtseva Y.V., Khapchaeva S.A., Terekhova I.V., Shubin V.V., Yurina N.P., Kulchin Yu.N. Effect of light quality on the biomass yield, photosystem 2 fluorescence, and the total essential oil content of *Ocimum basilicum*. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 336-343. <https://doi.org/10.1134/S0003683820030175>

ВКЛАД АВТОРОВ

Т.И. Зюбанова, О.М. Минаева, Е.Е. Акимова выполняли проведение экспериментальных исследований, анализ экспериментальных данных, написание рукописи. **М. Е. Кириллова** проводила химические анализы субстратов и растений. **Н.Н. Терешенко** осуществляла руководство исследованием.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tatyana I. Zyubanova, Oksana M. Minaeva and Elena E. Akimova performed the experimental research, analyzed the experimental data and writing the manuscript, **Marina E. Kirillova** conducted the chemical analyses, **Natalia N. Tereshchenko** supervised the research.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Зюбанова Татьяна Ивановна, младший научный сотрудник; ст. преп. кафедры сельскохозяйственной биологии, Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства *Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН); Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» ул. Гагарина, 3, г. Томск, 634050, Российская Федерация; пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация*
zyubanovat.i@gmail.com

Минаева Оксана Модестовна, доцент, канд. биол. наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биологии, Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства; старший научный сотрудник *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»; Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН) пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация; ул. Гагарина, 3, г. Томск, 634050, Российская Федерация*
tom05@mail.ru

Акимова Елена Евгеньевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник; доцент кафедры сельскохозяйственной биологии, Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства

*Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН); Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»
ул. Гагарина, 3, г. Томск, 634050, Российская Федерация; пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
akimovanell@mail.ru*

Кириллова Марина Евгеньевна, старший научный сотрудник

*Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН)
ул. Гагарина, 3, г. Томск, 634050, Российская Федерация
kirillovame@bk.ru*

Терещенко Наталья Николаевна, д-р биол. наук, профессор, кафедры экологии, природопользования и экологической инженерии, Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства
*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
ternat@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana I. Zybanova, Junior Researcher; Senior Teacher of the Department of Agricultural Biology, Institute of Biology
*Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences; Tomsk State University
3, Gagarina Str., Tomsk, 634050, Russian Federation; 36, Lenina Pr., Tomsk, 634050, Russian Federation*

zyubanovat.i@gmail.com

SPIN-code: 2023-2096

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9429-9706>

ResearcherID: Y-5887-2019

Scopus Author ID: 57203914538

Oksana M. Minaeva, Cand. Sc. (Biology), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Biology, Institute of Biology; Senior Researcher

Tomsk State University; Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences

36, Lenina Pr., Tomsk, 634050, Russian Federation; 3, Gagarina Str., Tomsk, 634050, Russian Federation

mom05@mail.ru

SPIN-code: 9088-5920

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5925-6022>

ResearcherID: H-8506-2014

Scopus Author ID: 25623529200

Elena E. Akimova, Cand. Sc. (Biology), Senior Researcher; Associate Professor of the Department of Agricultural Biology, Institute of Biology *Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences; Tomsk State University*

3, Gagarina Str., Tomsk, 634050, Russian Federation; 36, Lenina Pr., Tomsk, 634050, Russian Federation

akimovanell@mail.ru

SPIN-code: 1583-3419

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3279-8200>

ResearcherID: H-8521-2014

Scopus Author ID: 25623245900

Marina E. Kirillova, Senior Researcher

Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences

3, Gagarina Str., Tomsk, 634050, Russian Federation
kirillovame@bk.ru
SPIN-code: 3350-1703
ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-0138-6930>

Natalia N. Tereshchenko, Dr. Sc. (Biology), Associate Professor, Professor
of the Department of Ecology, Nature Management and Environmental
Engineering, Institute of Biology
Tomsk State University
36, Lenina Pr., Tomsk, 634050, Russian Federation
ternat@mail.ru
SPIN-code: 7391-2237
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3084-6926>
ResearcherID: N-7702-2014
Scopus Author ID: 7003806440

Поступила 02.08.2023

После рецензирования 08.09.2023

Принята 19.09.2023

Received 02.08.2023

Revised 08.09.2023

Accepted 19.09.2023