

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СЕВЕРНОГО
ЗАУРАЛЬЯ»

На правах рукописи

ПРОК ИРИНА АЛЕКСАНДРОВНА

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРЕРАБАТЫВАЕМЫХ
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ВЕРМИКУЛЬТУРОЙ *EISENIA FETIDA*
(SAVIGNY, 1826) В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:

Доктор биологических наук, доцент

ЛЯЩЕВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ

ТЮМЕНЬ – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	15
1.1 Общая характеристика дождевых червей	15
1.2 Преимущества дождевых червей	20
1.3 Систематика, классификация и экология дождевых червей	22
1.4 Вермикомпостирование – предпочтительный подход в органическом земледелии	32
1.5 Дождевые черви способствуют получению биогумуса	33
1.6 Рост и размножение <i>Eisenia fetida</i> в различных органических отходах	34
1.7 Биогенный статус вермикомпоста городских зеленых отходов	36
1.8 Оценка роли дождевых червей в биоконтроле заболеваний растений	38
1.9 Борьба с членистоногими вредителями растений	41
1.10 Механизмы борьбы с вредителями растений с помощью продуктов из биогумуса	45
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	47
2.1 Характеристика объектов исследования	47
2.2 Экспериментальное проектирование	59
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	66
3.1 Агрохимические свойства исходных субстратов и экстракта биогумуса	66
3.2 Подготовка субстратов для вермикультивирования из сельскохозяйственных отходов и городской фитомассы	68
3.3 Динамика численности популяций <i>Eisenia fetida</i> в субстратах из сельскохозяйственных отходов и фитомассы при вермикомпостировании	81

3.4 Потенциал биогумуса при утилизации фитомассы растений	101
3.5 Испытание биогумуса, полученного из сельскохозяйственных отходов и городской фитомассы на прорастание семян и рост рассады томатов и огурцов	121
3.6 Влияние экстрактов биогумуса, полученных из сельскохозяйственных отходов и городской фитомассы на подавление популяций двупятнистого паутинного клеща (<i>Tetranychus urticae</i>) на огурцах	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	160
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	163

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Жизнедеятельность человека и животных, любая технологическая деятельность неизбежно приводят к образованию различных видов отходов, оказывающих то или иное воздействие на окружающую среду. Одной из наиболее сложных проблем защиты окружающей среды и сохранения экологического равновесия является проблема управления процессами утилизации и обезвреживания отходов. Проблемы образования и использования отходов многогранны. Отходы производства и потребления могут являться ценными видами вторичных материальных и энергетических ресурсов. Широкое использование отходов в качестве вторичных материальных и энергетических ресурсов может не только решить экологические проблемы загрязнения окружающей среды, но и обеспечить материально-сырьевую базу необходимыми ресурсами. В некоторых случаях производство отдельных видов товарной продукции из вторичного сырья (отходов) значительно проще и дешевле, чем из первичного природного сырья.

В то же время возможности утилизации отходов для получения ценных продуктов и для обезвреживания содержащихся в них токсичных веществ используют пока крайне незначительно. В настоящее время в России перерабатывают около 45% городских органических остатков, остальное вывозят на свалки. Проблема управления отходами и их переработка является актуальной и до конца еще не решенной. В настоящее время происходит формирование научных подходов к оценке проблемы отходов в целом, правовых норм хозяйственной деятельности, связанной с образованием, утилизацией и обезвреживанием отходов, нахождением оптимальных путей их размещения, наносящих минимальный ущерб окружающей среде (Ветрова, 2000, Старостина, 2013).

Эти прибыльные системы оказывают негативное воздействие на окружающую среду, в которой они расположены, из-за огромного

количества производимых отходов, которые стали одной из наиболее важных проблем, связанных с сельскохозяйственной практикой. Эти отходы традиционно устранялись путем вывоза их на поля, что приводило к неконтролируемому и негативному визуальному воздействию на ландшафт. Кроме того, свалки, содержащие эти отходы, являются потенциальной питательной средой для болезней и вредителей и источником парниковых газов (метана) (Parra et al., 2008). Поэтому источники парниковых газов должны быть переработаны и повторно использованы для достижения экологически приемлемого управления сельским хозяйством. Особым видом растительных отходов являются городские органические отходы, которые состоят из листьев, разнотравья и газонной травы, гниения или нападения насекомых.

В последние десятилетия мировая наука и практика все больше внимания уделяет проблемам биологизации земледелия, применению биологических методов очистки промышленных и коммунальных отходов.

Поэтому необходимость производства экологически чистых удобрений, которые способствуют стимуляции роста растений и повышению неспецифической устойчивости к вредителям, болезням и стрессам. Именно к таким удобрениям относится вермикомпост – продукт переработки органических субстратов дождевыми червями (Терещенко, Бубина, 2007).

Развиваемые принципы экологического земледелия и органического растениеводства направлены на корректировку накопившихся в сельском хозяйстве проблем (Минеев и др., 1993; Орлов, 1995). Одной из мер снижения доступности для растений тяжелых металлов является применение мелиорантов, образующих с поллютантами труднорастворимые соединения.

Наряду со многими насекомыми, дождевые черви являются почвенными животными, которые перерабатывают большое количество органики в природе (Feller et al, 2003; Premalatha et al, 2013). Они поглощают

органические остатки мертвых растений вместе с почвой, тем самым способствуя движению и обороту почвы, одновременно содействуя минерализации мертвой фитомассы путем преобразования ее больших объемов в биогумус (Edwards et al., 2011). Существует три типа дождевых червей, характеризующихся на основе их предпочтений в пище: фитофаги, геофитофаги и геофаги. Первая категория специализируется на питании фитомассой. Вторая категория вносит существенный вклад в минерализацию фитомассы (Gajalakshmi, Abbasi, 2004a, b, 2008). Вместе три типа дождевых червей перерабатывают миллиарды тонн фитомассы в год (Abbasi S.A., Ramasamy, 2001; Edwards et al., 2011).

Но несмотря на то, что природа очень хорошо обеспечена дождевыми червями для переработки мертвой биомассы растений, контролируемое использование дождевых червей для переработки биологических отходов до сих пор в основном ограничивалось компостированием навоза животных (Tauseef et al., 2013). В меньшей степени в биогумус перерабатываются пищевые отходы. В настоящее время нет предприятий, которые бы перерабатывали отходы растительного происхождения, такие как опавшие листья, разнотравье, газонные травы или отходы сельскохозяйственных культур непосредственно в биогумус. В лучшем случае некоторые предприятия используют фитомассу в качестве второстепенной добавки к сырью на основе навоза (Tauseef et al., 2014). При переработке фитомассы очень важно знать процессы, которые происходят в системе ресурсы – организмы. Если условия удастся изменить к лучшему, станет возможным преобразовывать миллиарды тонн лигноцеллюлозной фитомассы, которая в настоящее время не имеет выгодного применения (Abbasi, Abbasi, 2010, 2012) в экологически чистое биоудобрение, благоприятное для почвы, растений и окружающей среды. Более того, вермикомпостирование по своей сути является экологически чистым процессом с гораздо меньшими затратами энергии или материалов, чем другие процессы биологической

обработки. Одним из его великолепных достоинств является способность возврата в почву не только большей часть углерода, но и всех питательных веществ, которые содержатся в исходном субстрате. Но если те же самые фитоотходы подвергнуть контролируемому биологическому разложению, можно уменьшить образование парниковых газов. Переваривание смягчает матрицу фитомассы и «открывает ее». Все эти факторы делают отработанные фитоотходы идеальным субстратом для биогумуса. Полученный в результате продукт биогумуса является отличным удобрением, поскольку, помимо наличия NPK и других питательных веществ в биодоступной форме биогумус содержит органические вещества, которые, стимулируют рост растений, одновременно отпугивая вредителей и патогены растений (Edwards et al., 2011).

Одним из наиболее важных преимуществ вермикомпоста является буферизация, препятствующая фоцилированию при адсорбции растительных элементов. Ученые, изучающие воду и почву, провели много исследований влияния вермикомпоста на физические и гидравлические характеристики почвы и пришли к выводу, что вермикомпост, делая структуру почвы губчатой, улучшает объемную и реальную плотность, пористость, повышает стабильность агрегата и структуру почвы, а также увеличивает скорость проникновения воды в почву и аэрацию. Вермикомпосты из сельскохозяйственных и городских отходов повышают урожайность и компоненты урожая растений, так что наблюдается значительное увеличение индекса площади листьев, высоты растений, массы 1000 семян и урожайности.

Благодаря проведенным исследованиям того, как дождевые черви влияют на доступность питательных веществ в почве и оборот почвы, можно было бы провести дополнительные исследования, чтобы понять, как биогумус дождевых червей влияет на последующий рост и общее состояние растений. Более конкретно было бы полезно понять, как вермикомпосты

дождевых червей могут влиять на биомассу побегов и корней, соотношение побегов и корней у растений и есть ли разница в том, как биогумус дождевых червей влияет на здоровье растений в разных семействах. Кроме того, представляет большой интерес выяснить, существует ли уровень или популяционная концентрация дождевых червей в реакторе, продукты которого могут обеспечивать максимальный потенциал здоровья растений, или может ли потенциал здоровья растений напрямую коррелировать с численностью дождевых червей в данном реакторе.

Многие исследования показали эффективность вермикомпоста в обеспечении защиты от различных болезней растений (Chaoui, 2002; Arancon, 2002). Биогумусовые компосты оказались более эффективными в качестве органических удобрений и биоконтрольных агентов в отношении составных частей термофильных аэробных компостов (Edwards, Arancon, 2004). В дополнение к использованию твердого вермикомпоста для подавления патогенов растений (Simsek-Ersahin et al., 2009) и вредителей, в последнее время все чаще используется разработка сжиженных продуктов из вермикомпоста, т. е. экстрактов из вермикомпоста (Yardim et al., 2006; Zaller, 2006; Edwards et al., 2009). Обе формы продуктов обладают большим потенциалом для производства и защиты сельскохозяйственных культур в устойчивых системах органического земледелия.

Цель данного исследования –оценить влияние различной плотности популяции дождевых червей *Eisenia fetida* на скорость переработки фитоотходов, рост и динамику численности их потомства, а также воздействие экстрактов биогумуса на параметры роста растений и подавление различных вредителей.

Задачи исследований:

1. Изучить приемы подготовки субстратов для вермикомпостирования сельскохозяйственных отходов и фитомассы.

2. Исследовать динамику численности и скорость роста популяции *E. fetida* при переработке различных субстратов.

3. Рассмотреть адаптационные способности и влияние различной плотности популяции дождевых червей *E. fetida* на скорость процессов переработки фитоотходов для получения качественных продуктов биогумуса.

4. Проанализировать влияние различных концентраций экстрактов биогумуса на прорастание семян и рост рассады томатов и огурцов.

5. Провести анализ влияния различных концентраций экстрактов биогумуса на подавление численности двупятнистого паутинного клеща (*Tetranychus urticae*) на огурцах.

Степень разработанности темы исследования

Исследования роли дождевых червей в биосфере восходят к трудам патриарха современной биологии Чарльза Дарвина, в частности, к вышедшей в 1881 году книге «The Formation of vegetable mould through the action of worms, with observations on their habits». В XX веке большой вклад в получение новых знаний о функциях дождевых червей в лесных и агроэкосистемах был сделан представителями отечественной биологии: Гедройц К.К., Аншальд Г.Д. (1902), Чекановская О.В. (1960), Курчева Г.Ф. (1971, 1973), Морев Ю.Б. (1989), Атлавините О. (1990), Городний Н.М. (1990), Игонин А.М. (1992), Артюшин А.М., Стадник Б.Г. (1994), Гайдаш Н.И. (1997), Просянников Е.В., Ерёмин А.В., Мешков И.И. (2000) и др.

Вопросы, связанные с изучением эффективности переработки различных сельскохозяйственных отходов и городской фитомассы дождевыми червями, а также с закономерностями влияния биогумуса на рост растений, использование продуктов из вермикомпоста для борьбы с болезнями и вредителями растений, подробно рассмотрены в работах зарубежных авторов, таких как Nijhawan S.D., Kanwar J.S. (1951), Joshi N.V., Kelkar B.V. (1951), Altavinite O. (1973), Fox L.R., Macauley B.J. (1977), Albuzio

A, Ferrari G, Nardi S (1986), Culliney T.W., Pimentel D. (1986), Edwards C.A., Burrows I., (1988), Tomati U, Galli E, Grapelli A, Dihena G (1990) Edwards C.A., Bohlen P.J (1996), Orozco F.H, Cegarra J, Trujillo L.M, Roig A (1996) и др.

В настоящее время активно ведутся прикладные эколого-физиологические исследования, связанные с совершенствованием технологий вермикомпостирования, что отражено в работах C.A. Edwards, N.Q. Arancon (2004), G. Payal, A. Gupta, S. Satya (2006), N.Q. Arancon, C.A. Edwards, P. Bierman (2006), Ch. Hala, H. Keener (2008), C.A. Edwards, N.Q. Arancon, M. Vasko-Bennett, A. Askar, G. Keeney (2010), И.Б. Сорокина (2013), Н.Н. Терещенко (2007, 2013), S.M. Tauseef, T. Abbasi, G. Banupriya, D. Banupriya, S.A. Abbasi (2014), N. Hussain, T. Abbasi, S.A. Abbasi, (2016) и др.

Вместе с тем существует ряд недостаточно изученных вопросов, связанных с теорией и практикой вермикомпостирования. В частности, исследование возможностей переработки компостными (высокотехнологичными) видами червей субстратов, бедных легко мобилизуемой органикой, но богатых некоторыми минеральными веществами. Работа в данном направлении может существенно повысить вариативность и эффективность использования вермикомпоста в качестве удобрения.

Научная новизна. Впервые в результате проведенных исследований подобраны приемы подготовки субстратов для вермикультуры из сельскохозяйственных отходов, существенно снижающих общее количество видов жизнеспособных семян сорных растений.

Экстракты биогумуса из фитомассы обладают большим потенциалом поддерживать прорастание семян, интенсивный рост томатов и огурцов, чем эквивалентное количество неорганических удобрений.

Многие фитоотходы могут быть использованы в качестве субстратов для быстрой переработки дождевыми червями, поскольку вермикомпостирование может подстроить любые компоненты этих

субстратов к использованию в виде стимуляторов, биопестицидов и иммуномодуляторов.

Впервые показано, что экстракты биогумуса, произведенные при переработке разнотравья, газонной травы и листового опада, более эффективно стимулируют рост площади листьев, высоту стебля и увеличивают количество листьев овощных культур, чем вермикомпост, полученный при переработке сельскохозяйственных отходов.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Полученные данные вносят вклад в разработку вопросов популяционной экологии, изучение возрастной структуры популяций, которая представляет собой основу популяционного гомеостаза, определяя снижение уровня конкуренции и поддержание устойчивых внутривидовых контактов, как функциональных, так и информационных. Возрастное соотношение *E. fetida* в составе популяции отражает потенциальную возможность воспроизводства на ближайшее время, что является основой прогнозирования темпов роста плотности популяции.

На обширном материале изучена и показана возможность использования метода вермикомпостирования для получения биоудобрений из местных источников сырья: навоза КРС, конского навоза, биомассы различных растений: разнотравья, газонной травы и листового опада. Выявлены основные закономерности влияния состава отходов и плотности популяции *E. fetida* на развитие и воспроизводство вермиккультуры и качество биогумусов.

Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» при подготовке бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям 06.03.01, 06.04.01 «Биология» при преподавании дисциплин Общая биология, Зоология, Популяционная экология, Биоразнообразие, Методика

зоологических исследований, Рациональное использование ресурсов животного мира.

Методология и методика исследований. Методология диссертационного исследования базировалась на общепринятых схемах лабораторных экспериментов по культивированию дождевых червей на субстратах разной природы и структуры. Для планирования и проведения исследований использовались различные источники информации (монографии, научные статьи, периодические издания, электронные версии научных журналов, методики постановки опытов). В качестве методов исследования использовались наблюдения, эксперименты, измерения и т.д. Работа выполнена с использованием современного оборудования, экологических и биологических методов. В ходе исследования применены стандартные методы статистического анализа, табличные и графические формы визуализации данных.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Субстраты фитомассы оказывают наиболее благоприятное влияние при средней начальной плотности популяции (1,5 кг) и всех уровнях кормления на рост и размножение популяции дождевых червей *E. fetida*, где плодовитость может увеличиваться более чем в 3 раза.

2. Полученные эффективные и качественные биогумусы из фитомассы различных растений сопряжены с характером действия водных экстрактов биогумуса, стимулирующих рост и развитие растений и повышение устойчивости иммунной системы.

3. Экстракты биогумуса из фитомассы газонной травы и разнотравья оказывают значительное отрицательное влияние на интенсивность размножения двупятнистых паутиных клещей.

Степень достоверности результатов исследований. Достоверность результатов диссертационного исследования обеспечивается значительным объемом исследуемого материала, полученного в полевых и лабораторных

исследованиях, репрезентативностью экспериментальных выборок, правильным подбором и применением методик исследований, корректным использованием методов статистического анализа, адекватных цели и задачам исследования.

Апробация работы. Материалы исследований доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные научно-практические решения в АПК» (Тюмень, 2017); XVIII Всероссийском совещании по почвенной зоологии «Проблемы почвенной зоологии» (Москва, 2018); VI Международной научно-практической конференции «Коняевские чтения» (Екатеринбург, 2018); II всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Современные научно-практические решения в АПК» (Тюмень, 2018); Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование Тюменской области: связь времен» (Тюмень, 2019).

Публикации. Результаты диссертационной работы отражены в 12 публикациях, из которых 4 статьи – в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Личный вклад автора. Автор работы принимала непосредственное участие в планировании экспериментов, анализе отечественных и зарубежных информационных источников, проведении экспериментов и статистической обработке материала. Основные научные результаты, представленные в диссертации, были получены автором лично или в ходе совместной работы автора с научным руководителем и другими соавторами. Формулировка научных положений, выводов диссертации, подготовка публикаций, апробация результатов исследования и написание текста диссертации проведены автором лично.

Структура и объем диссертации.

Диссертация изложена на 191 странице, состоит из введения, трёх глав, заключения и списка использованных источников и литературы. Работа

содержит 39 рисунка и 37 таблиц. Список использованной литературы включает 255 источников, в том числе 212 – на иностранных языках.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Общая характеристика дождевых червей

Чарльз Дарвин описывал дождевых червей как "необъявленных солдат человечества", а Аристотель называл их "кишечником земли" поскольку они могли переваривать широкий спектр органических веществ (Darwin, 1881). До того, как книга Дарвина была опубликована, дождевые черви считались почвенными вредителями сельскохозяйственных культур. Его взгляды на полезные свойства дождевых червей были впоследствии поддержаны и расширены другими современными учеными, такими как Muller (1878), Urquhart (1887) и многими другими. Дождевые черви являются важным звеном в пищевой цепи многих беспозвоночных и позвоночных животных (Macdonald, 1983). Древние люди использовали дождевых червей как в пищу, так и в качестве приманки на охоте и рыбалке. Исследования потенциала дождевых червей в переработке органических отходов начались в Германии (Graff, Makeshin, 1980) и продолжились в США. Appelhof (1982) суммировал обширные исследования по разрушению биотвердых веществ сточных вод дождевыми червями и общий коммерческий потенциал вермикюльтуры. Исследования по использованию дождевых червей для расщепления отходов животного и растительного происхождения, а также для получения белка дождевых червей, который можно было использовать в рыбоводстве и для кормления животных, начались в 1980-х годах (Edwards et al., 1985; Edwards, 1998).

Различные исследователи изучали потенциальное использование отходов, обработанных дождевыми червями, обычно называемых биогумусами, в садоводстве и сельском хозяйстве. Независимо от того, используются ли они в качестве почвенных добавок или в качестве компонентов садовых сред, вермикомпосты обычно усиливают рост и развитие рассады и повышают урожайность широкого спектра сельскохозяйственных культур. Повышение роста и продуктивности

растений было связано с физическими и химическими характеристиками обрабатываемых материалов. Несколько эпигейных дождевых червей, например *Eisenia fetida* (Savigny), *Perionyx excavatus* (Perrier), *Perionyx sansibaricus* (Perrier) и *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) были идентифицированы как питатели детрита и потенциально могут быть использованы для минимизации антропогенных отходов из различных источников. Хорошо известен потенциал компостирования дождевых червей *Eisenia fetida* для управления ресурсами органических отходов. Он считается ключевым организмом биогумусной промышленности во многих частях мира. Несколько ученых сообщили о биогумусном потенциале *E. fetida* при использовании различных отходов производства, таких как навоз крупного рогатого скота (Kale, 1998; Garg et al., 2006), бытовые отходы (Kale, 1998), осадок сточных вод (Gupta, Garg, 2008; Suthar, 2008), промышленные отходы (Suthar, 2007; Garg, Kaushik, 2005) и др. Suthar (2007) работал над влиянием различных источников пищи на рост и репродуктивные показатели компостирующего эпигея: *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* и *Perionyx sansibaricus*.

Дождевые черви являются одной из наиболее известных и хорошо изученных групп почвенных беспозвоночных и относятся к типу кольчатые черви (*Annelida*). По сравнению с другими типами червей, кольчатые черви имеют черты более высокой организации и составляют важное звено в эволюции животного мира. К этому типу относятся черви, тело которых сложено из сегментов и имеет вторичную полость или целом. Сегментация проявляется и во внутренней организации червей. В каждом сегменте находится нервный узел, кровеносные сосуды, выделительные и половые органы и др. (Pavlíček, 2014). Тип *Annelida* включает в себя подтип поясковые кольчецы *Clitellata*. Этот подтип, в свою очередь, включает класс малощетинковых червей (*Oligochaeta*). К олигохетам принадлежит отряд *Harplotaxida*, который включает в себя подотряд дождевые черви (*Lumbricina*)

(Островерхова, 2005; Бабенко, 2006). Подотряд *Lumbricina* включают в себя 8 родов: *Eiseniella*, *Eisenia*, *Bimastus*, *Eophila*, *Octolasion*, *Allobophora*, *Lumbricus*. Дождевые черви являются чрезвычайно важной таксономической группой в водных и наземных экосистемах. Эти животные могут быть определены как наземные беспозвоночные, которые возникли около 600 миллионов лет назад в докембрийскую эру (Pearce et al., 1990).

За последнее десятилетие, по мере того как правила применения и удаления органических отходов стали более строгими, интерес к использованию дождевых червей в качестве экологически безопасной системы для обработки навоза значительно возрос. Некоторые дождевые черви способны перерабатывать шламы сточных вод и биотвердые вещества из них, отходы пивоваренных заводов, отходы переработки картофеля, отходы бумажной промышленности, пищевые отходы супермаркетов и ресторанов, навоз птицы, свиней, крупного рогатого скота, овец, коз, лошадей и кроликов, садовые остатки мертвых растений, дворовые отходы и отходы грибной промышленности (Edwards, Neuhauser, 1988). Дождевые черви являются ненасытными поглотителями органических отходов, и они используют только небольшую часть этих отходов для своего роста и выделяют большую часть отходов.

Их характерные особенности заключаются в том, что внешне они сегментированы с соответствующей внутренней сегментацией и обычно имеют сеточки на всех сегментах. Дождевой червь получил свое название из-за того, что он роет норы и проедает себе путь в землю. Дождевые черви – это вездесущие почвенные беспозвоночные, которые поглощают большое количество минеральной почвы и органического материала, содержащего различные микроорганизмы. Они создают каналы аэрирования почвы, которые обеспечивают эффективный газообмен между почвой и корнями растений, поддерживают симбиоз между почвенными микроорганизмами и способствуют общей микробной активности. Дождевые черви также

способствуют минерализации питательных веществ во время распада органического вещества, тем самым поставляя питательные вещества для роста растений. Они являются биологическими индикаторами качества почвы (Ismail, 2005) так как хорошая популяция дождевых червей указывает на наличие большой популяции бактерий, вирусов, грибов, насекомых, пауков и других организмов и, следовательно, здоровой почвы (Lachnicht, Hendrix, 2001). Дождевые черви играют важную роль в перемешивании почвы, в улучшении аэрации почвы и в повышении водоудерживающей способности (Schonholzer et al., 1999). Хорошо известно, что они являются распространителями почвенных микроорганизмов и биореакторами для определенных видов микроорганизмов (Toyota, Kimura, 2000; Kiyasudeen et al., 2014) Они ускоряют мелиорацию почв и делают их продуктивными, восстанавливая полезную микрофлору. Поэтому их называют инженерами экосистем (Pathma, Sakthivel, 2012). Дождевые черви играют существенную роль в круговороте углерода, почвообразовании, участвуют в деградации целлюлозы и накоплению гумуса.

Дождевые черви при кормлении не только поглощают почву и растительный материал в разных пропорциях в разное время, но и принимают почву не селективно при создании свежих нор (Parle, 1963). Их активность ускоряет гумификацию органического вещества, а их влияние на увеличение микробных популяций усиливает присутствие ауксинов и гиббереллиноподобных веществ, а также гуминовых кислот (Casenave de Sanfilippo et al., 1990). Гуминовые кислоты стимулируют рост растений в биоанализах ауксина, гиббереллина и цитокинина (Phuong, Tichy, 1976). Они играют важную роль в разложении органического вещества и обмена веществ почвы через кормление, дробление, аэрацию, текучесть и дисперсию. Было точно установлено, что они способствуют трансформации почвенного углерода и азота путем их влияния на микрофлору почвы. Их эффекты включают в себя прямое и косвенное влияние, распространение,

конкуренцию и потенциал мутуалистических ассоциаций. Эти взаимодействия влияют на почву, наличие питательных веществ за счет повышения активности микробной биомассы и уменьшения её размеров, тем самым увеличивая общую доступность питательных веществ. По данным Senesi (1989) снижение отношения C/N до уровня менее 20 свидетельствует о продвинутой степени стабилизации органического вещества и отражает удовлетворительную степень зрелости органических отходов. Дождевые черви оказывают влияние на превращения азота в навозе, усиливая минерализацию азота так, что минеральный азот удерживается в нитратной форме. Таким образом, дождевые черви создают в навозе условия, благоприятствующие нитрификации, что приводит к быстрому превращению аммонийного азота в нитратный. Есть результаты, что *Eisenia fetida* в навозе коров повышает содержание нитратного азота в субстрате. Эти беспозвоночные могут взаимодействовать с почвенным микробным сообществом прямо или косвенно через кормление, рытье нор и литье (Lavelle, Spain, 2001). Они являются важными движущими силами почвенных биогеохимических процессов, поскольку они изменяют физико-химические свойства почвы и микробные сообщества посредством вышеупомянутых кормовых, роющих и литейных операций (Edwards, 2004). Хотя микроорганизмы в значительной степени ответственны за разложение органического вещества, дождевые черви могут также влиять на скорость разложения, непосредственно питаясь и переваривая органическое вещество и микроорганизмы, или косвенно влиять на них через их взаимодействие с микроорганизмами, в основном включающее стимуляцию или депрессию микробных популяций (Aira, Dominguez, 2009). Стимуляция микробной активности дождевыми червями была связана с различными процессами, происходящими от дождевых червей, такими как изменение физической структуры почвы, увеличение поверхностной атаки микроорганизмов путем измельчения органического вещества, производства слизи и выделительных

веществ, таких как мочевина и аммиак, которые составляют легко усваиваемый фонд питательных веществ для микроорганизмов (Aira et al., 2009). Дождевые черви оказывают влияние на скорость стабилизации навоза и скорость минерализации. Активность дождевого червя в коровьем навозе не оказывает большого влияния на микробную биомассу по сравнению с его активностью в почве. Satchell, (1967) указал, что влияние дождевых червей на легко разлагаемое органическое вещество, которое уже содержит высокую популяцию микроорганизмов, будет менее значительным, чем в почве.

1.2 Преимущества дождевых червей

В последние годы значительно возросло применение дождевых червей для расщепления широкого спектра органических остатков, включая осадок сточных вод, отходы животноводства, растениеводства и промышленные отходы для производства биогумуса. Хорошо известно, что дождевые черви оказывают благотворное физическое, биологическое и химическое воздействие на почву, и многие исследователи продемонстрировали, что эти эффекты могут увеличить рост растений и урожайность сельскохозяйственных культур как в естественных, так и в управляемых экосистемах (Edwards, Bohlen, 1996; Edwards, 1998). Эти благоприятные эффекты объясняются улучшением свойств и структуры почвы, большей доступностью минеральных питательных веществ для растений, а также увеличением микробных популяций и биологически активных метаболитов, таких как регуляторы роста растений.

Многие исследователи обсуждали преимущества дождевых червей (Bouche, 1977; Tomati et al., 1987; Edwards, Bohlen, 1996). Во время еды они зарываются, переворачиваются и поддерживают субстрат как губку в аэробном состоянии, обеспечивая поступление кислорода и выделение углекислого газа. Перемещаясь по отходам, они покрывают поверхность нор студенистым слизисто-белковым веществом, которое усиливает микробную

активность и последующее разложение. Они покрывают поверхность ходов своими слепками, уменьшая неприятные запахи и присутствие нежелательных животных, таких как мухи. Они мацерируют органические материалы через свой измельчающий желудок, что сильно увеличивает площадь открытой поверхности и усиливает благотворное действие аэробных микроорганизмов. Фактически дождевые черви могут получать все свое питание от микроорганизмов, которые растут на органических материалах. Полезные микроорганизмы, высвобождающиеся из кишечника дождевого червя, продолжают свою деятельность в течение некоторого периода вне кишечника благодаря благоприятной полисахаридно-мукопротеиновой среде, образующейся в перитрофической мембране, которая пропитывает каждый выброс и сохраняет много мельчайших агрегатов. Каждый слепок, покрытый перитрофической мембраной, обладает амфифильными свойствами воды, действуя как резервуар для воды с водоудерживающей способностью и в то же время как защитный поверхностный отвердитель, если он высушен. Конечный продукт (слепки дождевых червей, отливки или туррикулы) сохраняет свою собственную форму и агрегированную структуру в почве, что обеспечивает медленное высвобождение питательных веществ без потерь, осушения или замачивания. Различные органические материалы могут быть смешаны вместе с дождевыми червями, что позволяет улучшить комбинацию и состав питательных веществ, производя гораздо более мелкий, фрагментированный и однородный материал, чем любой другой способ компостирования. В ходе этого процесса дождевые черви вырабатывают биологически активные вещества, важные для биохимической и регулирующей деятельности почвы, такие как ферменты, антибиотики, витамины, гормоны и гуминовые вещества, имеющие большое значение в процессах питания растений. Существует значительное научное доказательство того, что человеческие патогены не выживают в процессе биогумусообразования поэтому, если

используются материалы, содержащие патогены, они по большей части погибают при прохождении через кишечник дождевого червя. Мелкие неорганические частицы, такие как камни, пластмасса или стекло, которые трудно собрать при смешивании с органикой, могут быть легко просеяны из-за более тонкого размера отливок. Вопреки распространенному мнению, у дождевых червей не так уж много серьезных естественных врагов – болезней или хищников. Кроме того, технологические процедуры дают возможность большому количеству дождевых червей расширить зоны вермикомпостирования и производить высококачественную белковую муку, пригодную для включения в различные корма для домашних животных.

1.3 Систематика, классификация и экология дождевых червей

Основные принципы систематики и таксономии дождевых червей базируются на анализе распределения по сегментам и взаимного расположения набора анатомо-морфологических маркеров. К таким маркерам относятся:

- морфометрические характеристики и расположение железистых образований пищевода, продуцирующих кальциевые чешуйки (ламеллы) на уровне XI-XIII сегментов.
- наличие и расположение парных окологлоточных сосудов, соединяющих кальциевые железы пищевода.
- количество и расположение дорзо-латеральных кишечных аппендиксов в зоне перетяжки между XII и XIII сегментами.
- расположение вентральных парных участков со щетинками (Blakemore, 2010; James, 2004; James, 2006; James, 2009).

Именно щетинки, редко расположенные на вентральной поверхности тела (по наличию которых получил своё название весь таксон *Oligochaeta*), являются самым универсальным таксономическим маркером у дождевых червей. Следует отметить, что и в настоящее время филогения, систематика и таксономия дождевых червей не представляет собой законченной системы

категорий и сталкивается с многочисленными трудностями и неоднозначными трактовками результатов исследований (Pavlíček, 2010, 2014). С одной стороны, по этой причине, а с другой, отражая общую тенденцию во всех биологических науках, в систематику и таксономию олигохет вообще и дождевых червей в частности активно внедряются методы молекулярно-генетического анализа (Pop et al., 2003).

По данным разных авторов, в настоящее время описано свыше 8000 видов примерно из 800 родов дождевых червей (Stewart, 2004; Титов, 2012), которые присутствуют в почве практически повсеместно (Blakemore, 2012).

Различные виды дождевых червей имеют различную историю жизни, занимают различные экологические ниши и были классифицированы на основе их стратегий питания и рытья нор на три экологические категории: эпигейные, анециевые и эндогейные (Bouche, 1977). В отечественной литературе данная классификация упоминается в некоторых классических трудах, (таких как работа Перель, 1979) и является действительно удачным примером экологической категоризации внутри одной из самых обширных групп почвенных беспозвоночных.

Виды дождевых червей, которые используются для вермикомпостирования, называемые эпигейными видами. Они могут очень быстро потреблять органические отходы и дробить их на гораздо более мелкие частицы, пропуская их через измельчающий желудок, которым обладают все дождевые черви. Эпигейные виды дождевых червей являются обитателями и трансформаторами подстилки. Они живут в органических почвенных горизонтах, в поверхностной подстилке или вблизи нее и питаются главным образом грубодисперсным органическим веществом. Они поглощают большое количество недосоставленного помета и выделяют холорганические фекальные гранулы. Эти виды имеют небольшие размеры тела, равномерно пигментированы и обладают высокой скоростью метаболизма и размножения, что представляет собой адаптацию к сильно

изменяющимся условиям окружающей среды на поверхности почвы. В тропических регионах эпигейные дождевые черви также могут быть найдены в пазухах бромелиевых растений. Эпигейные дождевые черви увеличивают скорость разложения и сильно влияют на популяции других обитающих в подстилке организмов (Dominguez et al., 2003). Эпигейные дождевые черви оказывают значительное прямое влияние на плотность популяций микрофауны и микроорганизмов в органических отходах. Эпигейные дождевые черви очень активны и очень быстро потребляют органические отходы, расположенные в относительно узком горизонтальном аэробном слое на глубине 10 – 15 см, то есть вблизи поверхности лежа или контейнера. Дождевые черви получают свое питание от микроорганизмов, которые растут на органических отходах, а не от самих отходов. В то же время они способствуют дальнейшей микробной активности в отходах, так что производимые дождевыми червями слепки или вермикомпосты гораздо более фрагментированы и микробиологически активны, чем органические отходы, которые потребляют дождевые черви. В ходе этого процесса важные питательные вещества растений, содержащиеся в отходах, в частности азот (N), фосфор (P), калий (K) и кальций (Ca), высвобождаются и преобразуются в формы, которые гораздо более растворимы и легко доступны растениям, чем те, которые содержатся в первоначальных отходах. Время удержания отходов в кишечнике дождевого червя короткое, самое большее несколько часов, и очень большие количества органического вещества часто проходят через среднюю кишку дождевых червей более одного раза. Несколько эпигейных видов дождевых червей были исследованы на предмет их способности стабилизировать органические отходы и производить вермикомпосты. Эпигейный вид, представленный обыкновенным красным червем (*Eisenia fetida*), не строит постоянных нор. Вместо этого они обычно встречаются в областях, богатых органическим веществом, таких как верхний слой почвы, в лесу под грудями листьев, под

гниющими бревнами или в кучах навоза. Эпигейный вид *Eisenia fetida* встречается практически повсеместно (Hendrix, 1995; Sims, Gerard, 1985). Поскольку они не зарываются глубоко в почву и предпочитают питаться богатым органическим веществом, эпигейные черви легко адаптируются к системам вермикультуры и вермикомпостирования. *Eisenia fetida* и *Eisenia andrei* составляют около 80 – 90% дождевых червей, выращиваемых на крупномасштабной коммерческой основе. Тот вид, который лучше всего адаптируется к конкретным условиям среды на данном участке, к местному климату, в конечном итоге будет доминировать в локальной экосистеме. В большинстве районов мира таким видом является *Eisenia fetida* (Edwards et al., 1996, 2004; Hendrix, 1995).

Эндогенные виды дождевых червей живут глубже в почвенном профиле и питаются в основном как почвой, так и связанным с ней органическим веществом. У них мало пигментации, и они обычно строят горизонтальные, глубоко разветвленные системы нор, которые заполняются литым материалом, когда они перемещаются через органоминеральный слой почвы. Дождевые черви этого типа могут зарываться глубоко в почву (Satchell, 1983), им требуется гораздо больше времени, чтобы достичь своего максимального веса, и они более терпимы к периодам голода, чем эпигейные виды. Эти виды не имеют большого значения в инкорпорации и разложении подстилки, поскольку они питаются подповерхностным почвенным материалом. Они важны в других процессах почвообразования, включая разложение корней, перемешивание почвы и аэрация. К этой эндогенной группе видов относятся такие виды, как *Allolobophora caliginosa*, *Aporrectodea rosea* и *Octolasion cyaneum*, которые строят широкие, в основном горизонтальные норы, где они остаются большую часть времени, питаясь минеральными частицами почвы и разлагающимся органическим веществом.

Анециевые виды дождевых червей живут в постоянных вертикальных системах нор, которые могут простираться на несколько метров в профиль почвы. Постоянные норы анециевых дождевых червей создают микроклиматический градиент, и дождевые черви могут быть найдены либо на неглубоких уровнях, либо глубоко в своих норах, в зависимости от преобладающих почвенных условий окружающей среды. Они появляются на поверхности почвы ночью, чтобы питаться главным образом поверхностным мусором, навозом и другим частично разложившимся органическим веществом, которое они тянут вниз в свои норы. Характерно, что эти дождевые черви имеют большие размеры в зрелом возрасте и темную окраску спереди и сзади. Скорость их размножения относительно медленная. Анециевые виды дождевых червей являются очень важными агентами в разложении органического вещества, круговороте питательных веществ и почвообразовании, ускоряя педологические процессы в почвах по всему миру. *Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea trapezoides* и *Allolobophora longa* входят в эту экологическую группу дождевых червей. Анециевые виды дождевых червей, такие как *Lumbricus terrestris* L. например, удаляют частично разложившийся растительный материал с поверхности почвы и транспортируют его в подповерхностные слои. По данным Sherman, (1994) анециевые виды, представленные обыкновенным ночным ползунком (*Lumbricus terrestris*), строят постоянные вертикальные норы на глубину свыше 1 метра в почве. Они питаются органическим остатком на поверхности почвы и превращают его в перегной (Ponge et al., 1999). Данные виды имеют эволюционное приобретение в виде хвоста, покрытого мелкими щетинистыми волосками (Edwards et. al., 2004). Эти волоски быстро и легко выдвигаются и способны хорошо цепляться к стенам норы, позволяя червю быстро возвращаться обратно в свое убежище. Эти черви характеризуются достаточно длинным репродуктивным циклом, не отличаются высокой плотностью в популяциях и требовательны к стабильным и постоянным

условиям среды в своих норах. Только в этом случае они процветают. Вне системы нор анециевые черви не могут размножаться и расти (Edwards et al., 1996, 2004).

В зависимости от вида взрослые дождевые черви могут быть от 10 мм длиной и 1 мм шириной, и до 3 м в длину и более 25 мм в ширину. Типичные особи *Lumbricus terrestris* вырастают до 360 мм в длину (Blakemore, 2012). Тело дождевого червя можно разделить на передний (головной) и задний концы. Головной конец более толстый и темнее окрашен, а задний более тонкий и бледный. На головном конце тела находится рот, а на хвостовом – анальное отверстие (Чекановская, 1960). Форма дождевого червя представляет собой цилиндрическую трубу, разделенную на ряд сегментов, из которых состоит тело. Число сегментов у обычных видов варьирует в пределах от 90 до 300. Все дождевые черви обладают вторичной полостью тела или целомом. Головной конец выполняет функции осязания и обоняния. В передней части тела у взрослых особей имеется так называемый поясок, т.е. утолщение, охватывающее от 5 до 12 сегментов. Поясок, как правило, имеет несколько иную окраску по сравнению с окраской всего тела. Это образование является частью репродуктивной системы, в которой формируются и созревают коконы (Sims, Gerard, 1985).

Сегментированное тело дождевых червей покрыто однослойным эпителием. Тонкая кутикула, покрывающая кожу, обычно пигментированная, красного или коричневого цвета, обеспечивает гладкость поверхности всего тела. Специализированные клетки выделяют жидкость из кутикулы, покрывающую эпителий, чтобы поддерживать внешние покровы влажными. Это, в свою очередь, облегчает движение червя в почве. Под кожей находится слой нервной ткани и двойной слой мышц: тонкий наружный слой круговых мышц и более толстый внутренний слой продольных мышц (Sims, Gerard, 1985). Покровные ткани и оба мышечных слоя образуют так называемый кожно-мускульный мешок (Чекановская, 1960). Многие

дождевые черви могут выделять целомическую жидкость через спинные поры в ответ на стресс.

Пищеварительный тракт дождевого червя простирается на всю длину его тела. Черви заглатывают почву (в том числе разлагающиеся органические остатки в почве) или остатки растительного происхождения на поверхности почвы. Проглоченное вещество смешивается сильными мышцами и перемещается через пищеварительный тракт, в то время как наполненные ферментами жидкости выделяются и смешиваются с материалами. Пищеварительные жидкости выделяют аминокислоты, сахара, бактерии, грибы, простейшие, нематоды и другие микроорганизмы, а также частично разложившиеся растительные и животные вещества из пищи, которую проглотили черви. Более простые молекулы затем поглощаются через кишечные мембраны и используются дождевыми червями для производства энергии и клеток (Edwards, Bohlen, 1996).

Различные виды дождевых червей имеют совершенно разную историю жизни, поведение и экологические требования, занимая различные экологические ниши. Многие виды дождевых червей производят коконы в течение всего года, когда температура, влажность почвы, запасы пищи и другие факторы окружающей среды являются подходящими. Количество коконов, производимых в сезон, очень сильно зависит от вида и климата. Эти гермафродиты весят более 1400 – 1500 мг через 8 – 10 недель. Их организм содержит 65% белка (70 – 80% высококачественного "богатого лизином белка" в пересчете на сухую массу), 14% жиров, 14% углеводов и 3% золы. Продолжительность их жизни колеблется от 3 до 7 лет в зависимости от вида и экологической ситуации. Satchell, (1967) указал, что существует поразительная корреляция между количеством коконов, производимых любым видом, и тем, насколько этот вид подвержен воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды, таких как высыхание, экстремальные температуры и хищничество. Виды, которые

живут или могут перемещаться в более глубокие слои почвы и защищены от неблагоприятных условий, обычно производят меньше всего коконов, тогда как те виды, которые живут вблизи поверхности и подвергаются непосредственному воздействию факторов окружающей среды, производят гораздо больше. Время, необходимое дождевым червям для достижения половой зрелости после вылупления, сильно отличается у разных видов. Температура также влияет на время развития до появления коконов. Инкубационные периоды у разных видов дождевых червей сильно различаются. Satchell (1967) предположил, что продолжительность жизни зрелых люмбрицид в полевых условиях короткая, часто не более нескольких месяцев. Хотя он рассчитал, что их потенциальная продолжительность жизни составляла 4 – 8 лет, потому что они подвергались различным опасностям. В условиях охраняемой культуры особи *A. longa* и *L. terrestris* содержатся уже более 10 лет. Дождевые черви прекращают размножаться за некоторое время до своей смерти. Было сообщено, что активный период размножения, в котором виден поясок, составляет только половину периода взрослой жизни дождевых червей.

Согласно Sinha et al. (2002) и Sherman (2003) физическая структура дождевых червей сходна у разных видов. Дождевые черви относятся к типу *Annelida*, что означает «кольчатые». «Кольца» вокруг червей называются сегментами. Красные черви (*Eisenia fetida*) имеют около 95 сегментов, в то время как ночные ползунки (*L. terrestris*) имеют около 150. Тела дождевых червей имеют обтекаемую форму, не содержат выступающих придатков или органов чувств, что позволяет им легко проходить через почву.

Популяции дождевых червей сильно различаются по численности, биомассе и разнообразию. Популяции варьируют от нескольких особей на 1 м² до более чем 1000 на м² (Lee, 1985; Edwards, Bohlen, 1996). Размер популяций зависит от широкого спектра факторов, включая тип почвы, pH, влагоудерживающую способность почвы, количество осадков и температуру

окружающей среды. Но самое главное – от наличия готового органического вещества. Популяции дождевых червей на обрабатываемых землях обычно не превышают 100 на м² или 400 на м² на пастбищах. Иногда регистрируются цифры, достигающие 2000 на м², хотя в более кислых почвах в хвойных лесах встречается относительно небольшое количество дождевых червей. Обычно самыми крупными популяциями дождевых червей являются люмбрициды, которые способны выживать в неблагоприятных почвенных и подстилочных условиях гораздо лучше, чем виды, принадлежащие ко многим другим семействам. Биомасса дождевых червей в большинстве почв превышает биомассу всех других беспозвоночных, населяющих почву. Активность дождевых червей сильно различается между сезонами. В умеренных регионах, где дождевые черви активны в основном весной и осенью. В течение зимы они проникают глубже в почву, где гораздо более защищены от неблагоприятных зимних холодных температур. В засушливые летние периоды они также зарываются глубже в почву и иногда строят клетки, выстланные слизью, в которых они активируются в свернутом положении до тех пор, пока условия окружающей среды снова не станут благоприятными. Хотя коконы могут быть произведены почти в любое время года, производство коконов обычно носит сезонный характер. В умеренных регионах большинство коконов образуется весной или в начале лета, а второй, гораздо меньший пик, приходится на осень. Количество коконов колеблется от 1 до 20 на спаривание в зависимости от вида.

Дождевые черви имеют потенциал для очень длительных жизненных циклов до 10 – 12 лет. Хотя в полевых условиях многие виды могут жить только 1 или 2 сезона из-за их восприимчивости к некоторым хищникам (Edwards, Bohlen, 1996). Действительно, их потенциальное долголетие в сочетании с их плодовитостью означает, что в отсутствие хищничества или неблагоприятных условий окружающей среды их популяции могут быстро

расти. Кроме того, некоторые виды могут производить коконы партеногенетически без спаривания, что повышает их потенциал к распространению на новые участки. Влажность и температура оказывают значительное влияние на их способность заселять новые участки. Дождевые черви теряют влагу через свои кутикулы, поэтому они очень зависят от влажности почвы, и их деятельность тесно связана с характером осадков. В периоды интенсивных осадков некоторые виды могут выходить из своих нор, и их часто находят в большом количестве на поверхности почвы, где они могут погибнуть. Производство коконов и рост дождевых червей положительно коррелируют с температурой, но инкубационный период кокона, процент вылупления и количество детенышей, произведенных на кокон, отрицательно коррелируют с температурой (Edwards, 1998). Многие виды не могут выжить при температуре ниже 0°C, а большинство видов не могут выжить, когда температура выше 30 – 35°C (Edwards, 2004). Отдельные коконы, содержащиеся в органических отходах, в хороших условиях при температуре 25°C, которые проверялись дважды в неделю для определения количества вылупившихся коконов и количества детенышей дождевых червей, произведенных на один кокон. В результате из этих данных был сделан вывод, что *E. fetida* произвела 6 коконов на дождевого червя в неделю (19 молодых червей), *D. veneta* произведено 5 коконов (19 молодых червей).

Вновь появившиеся черви обладают тем же числом сегментов, что и взрослые. Хотя они многократно увеличиваются в размерах, количество сегментов остается прежним. Satchell (1967) предположил, что увеличение веса каждый год происходит в течение осени и весны, а в течение зимних и летних месяцев набирается мало веса. Отдельные черви быстро набирают вес, пока не достигнут половой зрелости. Но после достижения зрелости набор веса замедляется до исчезновения пояса.

1.4 Вермикомпостирование – предпочтительный подход в органическом земледелии

Вермикомпостирование (vermis от латинского слова "червь") – это мезофильный процесс (Edwards, Burrows, 1988), который включает совместное действие дождевых червей (активных при температуре 10 – 32°C) и мезофильных микробов (Benitez et al., 1999) для превращения органических отходов в ценный конечный продукт, известный как вермикомпост. Компостирование включает деградацию органических отходов микроорганизмами в контролируемых условиях, в которых органический материал проходит характерную термофильную стадию, позволяющую санировать отходы путем элиминации патогенных микроорганизмов (Lung et al., 2001). Компостирование также используется для обработки навоза, зеленых отходов и твердых бытовых отходов (Goyal et al., 2005). Однако биогумус дает более качественный конечный продукт, чем компостирование, благодаря совместному действию ферментативной и микробной активности, происходящей в процессе (Bajsa et al., 2003). Этот процесс происходит быстрее, чем традиционное компостирование, поскольку материал проходит через кишечник дождевого червя, в результате чего полученные отливки дождевого червя богаты микробной активностью и регуляторами роста растений, а также обогащены свойствами отпугивания вредителей (Vermi, 2001, Crescent, 2003). По сравнению с традиционным методом компостирования, вермикомпостирование приводит к уменьшению массы, сокращению времени обработки и высокому уровню гумуса со сниженной фитотоксичностью (Atiyeh et al., 2001). Таким образом, вермикомпост считается идеальным биоудобрением для органического земледелия, так как он богат питательными веществами и содержит высококачественный гумус, гормоны роста растений, ферменты и вещества, способные защитить посевы от вредителей и болезней (Sinha et al., 2010a, Sinha et al., 2010b). Кроме того, вермикомпост обладает высокой пористостью, аэрацией, дренажной и

водоудерживающей способностью (Edwards, Burrows, 1988). В дополнение к повышенной доступности N, C, P, K, Ca и Mg также обнаружена доступность питательных веществ для растений в слепах дождевых червей (Orozco et al., 1996). Гормоны роста растений, а именно цитокинины и ауксины, содержатся в органических отходах, перерабатываемых дождевыми червями (Krishnamoorthy, Vajrabhiah, 1986). Они также выделяют в компост определенные метаболиты, такие как витамин B, витамин D и аналогичные вещества (Nielson, 1965). Таким образом, дождевые черви ускоряют скорость минерализации и превращают навоз в отливки с более высокой питательной ценностью и степенью гумификации, чем традиционный способ компостирования (Jeyabal, Kuppuswamy, 2001). Состав, общедоступных питательных веществ биогумуса следующий: органический углерод 9,5 – 17,98%, азот 0,5 – 1,50%, фосфор 0,1 – 0,30%, калий 0,15 – 0,56%, натрий 0,06 – 0,30%, кальций и магний 22,67 – 47,60 мг-экв/100 г, медь 2 – 9,50 мг/кг, железо 2 – 9,30 мг/кг, цинк 5,70 – 11,50 мг/кг, сера 128 – 548 мг/кг (Kale, 1995). Таким образом, вермикомпостирование позволяет биологически трансформировать отходы в ценное органическое удобрение. Вермикомпост в народе называют черным золотом, который стал одним из основных компонентов системы органического земледелия (Crescent T., 2003).

1.5 Дождевые черви способствуют получению биогумуса

Дождевые черви способствуют росту полезных разлагающих аэробных бактерий в органических отходах, а также действуют как измельчитель, дробилка, химический разлагатель и биологический стимулятор отходов (Binet et al., 1998, Singleton et al., 2003). Дождевой червь содержит миллионы разлагающих (биodeградирующих) микробов (Nagavallemma et al., 2004), гидролитических ферментов и гормонов, что способствует быстрому разложению сложного органического вещества в вермикомпост за 1 – 2 месяца (Sanchez-Monedero et al., 2001) по сравнению с традиционным способом компостирования, который занимает почти 5 месяцев (Munnoli et

al., 2010). Механизм образования вермикомпоста дождевыми червями состоит из следующих стадий: органический материал, потребляемый дождевыми червями, размягчается слюной во рту дождевых червей. В пищеводe пища дополнительно размягчается и нейтрализуется кальцием, а физическое разрушение в мышечном желудке приводит к образованию мелких по размеру частиц. Этот окончательно измельченный материал подвергается воздействию различных ферментов, таких как протеаза, амилаза, липаза, целлюлаза и хитиназа, секретируемых в просвете желудка и тонкой кишки (Ismail, 1997). Кроме того, микробы, связанные с кишечником, способствуют расщеплению сложных биомолекул на простые соединения. Только 5 – 10% проглоченного материала всасывается в ткани червей для его роста, а остальная часть выводится в виде вермикомпоста. Вермикомпост – это хорошее органическое удобрение и кондиционер почвы. Высококачественный вермикомпост может быть произведен такими червями, как тигровый дождевой червь (*E. fetida*), так как он содержит гумус с высоким содержанием питательных веществ, который имеет хороший потенциал для производства органических удобрений. Вермичай является жидким удобрением и используется в качестве внекорневого опрыскивания, получаемого путем пропускания воды через колонки вермикультурных пластов (Ismail, 1997).

1.6 Рост и размножение *Eisenia fetida* в различных органических отходах

Различные органические отходы, испытанные ранее в качестве кормового материала для различных видов дождевых червей, включают отходы сточных вод (Benitez et al., 1999; Delgado et al., 1995; Diaz-Burgos, 1992), отходы бумажной промышленности (Butt, 1993), отходы свиноводства (Chan, Griffiths, 1988), водяной гиацинт, (Gajalakshmi et al., 2001), бумажные отходы (Gajalakshmi et al., 2002), пивные дрожжи (Butt, 1993), растительные остатки (Bansal, Kapoor, 2000), коровий шлам (Hand, 1988), навоз крупного

рогатого скота (Mitchell, A. 1997), шлам виноградной лозы (Atharasopoulous, 1993), рисовую стерню, листья манго (Talashilkar, 1999), активный ил (Hartenstein, Hartenstein, 1981), шлам текстильной фабрики (Kaushik, Garg, 2003) и т.д.

Loh et al. (2004) сообщили, что прирост биомассы и производство коконов *Eisenia foetida* были больше в отходах крупного рогатого скота, чем в отходах коз. Kale et al. (1982) сообщили о потенциале *Perionyx excavatus* для вермикомпостирования различных отходов (овечий навоз, коровий навоз, птичий помет, биогазовый осадок и песок в качестве контроля). Черви охотно принимали коровьи и лошадиные отходы. Овечьи отходы потреблялись через 3 или 4 дня после их добавления. Рост, плодовитость и смертность *E. foetida* была изучена Gunadi, Edwards, (2003) в ряде различных отходов (твердых телах навоза крупного рогатого скота, твердых телах навоза свиньи и отходах рынка) в течение более чем одного года. Черви не могли выжить в свежих твердых телах крупного рогатого скота, свиней, фруктовых и овощных отходах. В отходах свиней рост *E. foetida* происходил быстрее, чем в твердом теле крупного рогатого скота. Многократное добавление субстратов увеличивало плодовитость червей, но наблюдалась тенденция к снижению массы червей через 60 недель эксперимента. Singh, (2004) изучал оптимальную потребность во влаге при вермикомпостировании *P. excavatus*. Проведенное исследование показало, что 80% влажность является оптимальной для стабилизации отходов при минимальном времени переработки.

Aquino, (1994) изучали плодовитость дождевых червей в навозе крупного рогатого скота и жмыхе сахарного тростника, смешанных в различных соотношениях. Максимальное размножение наблюдалось в соотношениях 1:1 и 3:1. Кожура горького корня маниоки, основного источника пищевых углеводов в тропиках, образует токсичные отходы, которые смертельны для почвенных беспозвоночных и подавляют рост

корней растений. Исследования Mba (1996) выявили способность *Eudrilus eugeniae* частично детоксифицировать отходы и превращать токсичную кожуру маниоки в ценный вермикомпост. Вермикомпостирование нима (*Azadirachta indica*) было изучено Gajalakshmi, Abbasi (2004) в высокоскоростных реакторах, работающих при плотности популяции дождевых червей (*E. eugeniae*) 62,5 и 75 животных на 1 л объема реактора. Несмотря на опасения, что ним – мощный нематоцид может быть непригоден для кольчатых червей, дождевые черви жадно питались компостом из нима, превращая в день до 7% корма в вермикомпост. Питаясь нимом, черви росли и размножались быстрее в вермиреакторах, чем в реакторах, питаемых подстилкой из листьев манго, ранее изученных теми же авторами.

1.7 Биогенный статус вермикомпоста городских зеленых отходов

Городские зеленые отходы обычно включают садовые или парковые отходы, такие как трава или цветочные черенки и обрезки живой изгороди, бытовые и коммерческие пищевые отходы и отходы овощного рынка, которые образуются в больших количествах и накапливаются негигиеничным способом рядом с овощными рынками, источающими невыносимый неприятный запах из-за отсутствия надлежащего научного управления утилизацией. Отходы овощного рынка – это остатки и выброшенные гнилые овощи, фрукты и цветы. Эти городские отходы могут быть преобразованы в потенциальный обогащенный растительными питательными веществами ресурс – компост и вермикомпост, которые могут быть использованы для устойчивых методов восстановления земель (Suthar, Singh, 2008). Вермикомпостирование является мезофильным процессом и представляет собой процесс заглатывания, переваривания и поглощения органических отходов, осуществляемый дождевыми червями с последующим выделением отливок через метаболическую систему червя, в ходе которого их биологическая активность повышает уровень растительных питательных веществ органических отходов (Venkatesh, Eevera, 2008). Компост и

вермикомпост являются конечными продуктами аэробного процесса компостирования с использованием дождевых червей. Биогумус обладает более высоким и растворимым уровнем основных питательных веществ – азота, фосфора, калия, кальция и магния (Bansal, Kapoor, 2000; Singh, Sharma, 2002; Reddy, Okhura, 2004) по сравнению с субстратом или подстилающей почвой, а также обычным компостом. В ходе этого процесса питательные вещества, заключенные в органических отходах, преобразуются в простые и более легкодоступные и усваиваемые формы, такие как нитратный или аммонийный азот, обменный фосфор и растворимый калий, кальций, магний в кишечнике червя (Lee, 1985; Atiyeh et al., 2002). Вермикомпост часто считается добавкой к удобрениям, и он медленно высвобождает основные и незначительные питательные вещества со значительным снижением соотношения C/N, синхронизируясь с потребностями растений (Kaushik, V. K. Garg, 2003).

Отходы овощного рынка, а также цветочные (*Peltophorum pterocarpum*) отходы были собраны и компостированы с использованием трех различных видов дождевых червей: *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae* и *Perionyx excavatus* в ходе настоящего исследования. Эти черви были рассмотрены как ключевые агенты для управления органическими отходами через процесс вермикомпостирования (Kale et al., 1982; Tomati, 1983; Elvira, 1998; Garg, P. Kaushik, 2005; Suthar, 2006). Основная цель настоящего исследования состояла в том, чтобы узнать, в какой степени вермикомпостирование и обычное компостирование городских зеленых отходов могут быть объединены для того, чтобы максимизировать потенциал обоих процессов. Ранее Graziano, Casalicchio, (1987) предложили комбинацию аэробного компостирования и вермикомпостирования для повышения ценности конечных продуктов. Frederickson, Knight, (1988) показали, что вермикультура и анаэробные системы могут быть объединены для повышения стабилизации органического вещества. Преимущества

комбинированной системы переработки городских зеленых отходов могут включать эффективную дезинфекцию и борьбу с патогенами благодаря первоначальному короткому периоду термофильного компостирования, повышенным темпам стабилизации, а также производству дождевых червей и вермикомпоста (Frederickson et al., 1997). Ранее была проведена стабилизация зеленых отходов, таких как дворовые отходы и растительные отходы в процессе компостирования и вермикомпостирования (Frederickson et al., 1997; Karthikeyan, 2007; Jadia, Fulekar, 2008). В настоящем исследовании была предпринята попытка главным образом оценить питательный статус различных вермикомпостов, полученных тремя видами дождевых червей и компоста городских овощных и цветочных отходов по отношению к соответствующим исходным субстратам, а также получить эмпирическую информацию о росте и продуктивности трех видов дождевых червей, культивируемых на двух субстратах.

1.8 Оценка роли дождевых червей в биоконтроле заболеваний растений

Дождевые черви, называемые Аристотелем “кишечниками земли” – это мягкотелые, билатерально симметричные, удлиненные, метамерно сегментированные беспозвоночные, принадлежащие к классу *Oligochaeta*, типа *Annelida*. Они питаются органическим веществом почвы и делают большие норы, таким образом делая почву более проницаемой для дождей и растительных волокон и увеличивая водоудерживающую способность почвы. Посредством подкормки, рытья нор и забрасывания дождевые черви изменяют физические, химические и биологические свойства органического вещества почвы. Изменения физических свойств органического вещества, вызванные активностью дождевых червей, включают улучшение агрегации, стабильности и пористости. Химические свойства почвы, обработанной дождевыми червями, включают динамику органического вещества по качеству и количеству, круговорот питательных веществ, химические формы

питательных веществ в почве и их доступность для растений. Дождевые черви также изменяют микробную и беспозвоночную активность, численность, биомассу, видовой состав и разнообразие (Lavelle et al., 1998; Aira et al., 2007a, 2007b). Микробное сообщество кишечника дождевого червя и его слепка потенциально активно и может переваривать широкий спектр органических веществ и полисахаридов, включая целлюлозу, сахара, хитин, лигнин, крахмал и полимолочные кислоты (Zhang et al., 2000; Aira et al., 2007a; Vivas et al., 2009). Дождевые черви были описаны как одна из основных групп почвенных инженеров в экосистемах, поскольку они изменяют структурные свойства почвы и таким образом влияют на почвенные микроорганизмы, регуляцию питательных веществ и рост растений (Lavelle, 1997). Поскольку дождевые черви находятся ближе к корневой зоне растений (ризосфере), где есть богатое органическое вещество, дрилосфера (дождевой червь влияет на объем почвы и микробиоту) и ризосфера взаимозависимы.

Дождевые черви – очень подходящий кандидат для биологического разложения органических материалов. Разложение органического материала с использованием дождевых червей называется вермикомпостированием, а готовый продукт – вермикомпостом. Этот метод широко используется для переработки различных видов отходов, включая органические и промышленные отходы. Кроме того, имеется ряд сообщений, демонстрирующих положительное влияние применения вермикомпоста на рост и урожайность растений (Maize, Gutierrez-Miceli et al., 2008; Tejada, Gonzalezb, 2009; Suthar, 2009). Осознание вредных последствий чрезмерного использования агрохимикатов и удобрений породило необходимость альтернативных подходов к устойчивому поддержанию плодородия почв. В последние десятилетия ученые во всем мире выступают за низкие затраты, которые основаны на экологических подходах к устойчивому сельскому хозяйству. Вермикомпостирование – это один из таких подходов, который

может сыграть значительную роль в повышении плодородия почвы и улучшении здоровья почвы для устойчивого сельского хозяйства. Кроме того, была также установлена потенциальная роль биогумуса в борьбе с почвенными грибковыми заболеваниями растений (Rivera et al., 2004; Asciutto et al., 2006; Sahni et al., 2008a). Физические и химические свойства биогумусов (Albanell et al., 1988; Orozco et al., 1996) делают их пригодными для использования в качестве субстратов, подавляющих заболевания (Szczecz, 1999; Rodriguez Navarro et al., 2000). Неизбирательное использование фунгицидов для борьбы с болезнями и их воздействие на окружающую среду обусловили необходимость проявления интереса к поиску экологически безопасных альтернатив. Благодаря обнадеживающим результатам с вермикомпостом в настоящее время исследователи пытаются понять способ действия вермикомпоста в подавлении различных грибковых заболеваний растений. В связи с этим было предложено несколько механизмов, объясняющих подавление болезней растений применением вермикомпоста. Дождевые черви играют жизненно важную роль в создании оптимальных условий для развития и размножения полезных организмов, которые конкурируют с более вредными микробами и доминируют над ними (Manandhar, Yami, 2008). В недавнем исследовании Gopal et al. (2009) пришли к выводу, что происходит усиление общих и растительных полезных микроорганизмов, когда отходы листьев кокоса (с добавлением 10% (w/w) коровьего навоза) превращается в биогумус местным штаммом *Eudrilus sp.*

Учитывая имеющуюся в настоящее время информацию, потенциальная роль дождевых червей в регулировании разнообразия микрофлоры в почвенных системах сама по себе и в борьбе с растительными грибковыми патогенами может быть важной и требует дальнейших исследований.

1.9 Борьба с членистоногими вредителями растений

Известно, что различные формы органического вещества, применяемые в полевых условиях, приводят к уменьшению популяции членистоногих вредителей и, как следствие, к повреждению урожая (Patriquin et al., 1995). Применение органического вещества и обычных термофильных компостов подавляет атаки вредителей, таких как тля и чешуйчатые насекомые (Culliney, Pimentel, 1986; Yardim et al., 2006). Edwards et al., (2004) упомянули исследования Biradar (1998), Ramesh (2000), Rao et al., (2001) и Rao (2002) о подавляющем воздействии биогумуса на членистоногих вредителей растений. Эти более ранние сообщения показали, что вермикомпосты подавляли атаки и повреждения тлей (*Aphidoidea*), паутиными клещами (*Tetranychidae*) (Rao, 2002) и псиллидами (*Psilidae*) (Biradar et al., 1998). Biradar et al. (1998) сообщили о четкой корреляции между количеством вермикомпостов в среде, в которой выращивалась леуцена светлоголовчатая (*Leucaena leucosephala*), и степенью зараженности подорожниковой *Heteropsylla cubana*. Ramesh (2000) сообщил о подавляющем эффекте биогумуса на плантациях арахиса, которые подверглись нападению сосущих вредителей. Rao et al., (2001) заявили, что обработка плантаций арахиса вермикомпостами снизила как заболеваемость, так и общую плотность популяции *Aproaerema modicella*, а также значительно снизила число нападений *Empoasca verri* и тли (*Aphis craccivora*) и уменьшила плотность популяции хищников в ответ на применение биогумусов в полевых условиях.

Edwards et al., (2004) в Лаборатории экологии почв ОГУ, США, провели некоторые подробные исследования в теплицах, которые были посвящены влиянию добавок вермикомпоста на плотность популяции членистоногих и последующему повреждению растений томатов, перцев и капусты. Они продемонстрировали, что низкие показатели внесения твердых биогумусов 20 и 40% (по объему) в коммерческую среду для выращивания растений

MetroMix 360 (MM360) значительно уменьшили плотность популяции и ущерб от тли (*Myzus persicae*), мучнистых клопов (*Pseudococcus*) и гусениц (*Pieris brassicae*). Рассада капусты, выращенная на 100% MM360, потеряла больше площади листьев, чем рассада, выращенная на той же среде, содержащей 20 или 40% вермикомпоста (Arancon et al., 2003). Chan, (1988) занимающийся коммерческим вермикомпостированием в Калифорнии, США, утверждал, что продукты из вермикомпоста отпугивают множество различных насекомых – вредителей. Его объяснение состоит в том, что это происходит из-за выработки червями ферментов “хитиназы”, которые расщепляют хитин в экзоскелете насекомого (Munroe, 2007). Аналогичные отчеты подтверждают идею о том, что подавление потенциального воздействия биогумусов на плотность популяции членистоногих вредителей растений может привести к созданию жизнеспособных методов борьбы с вредителями.

В другом исследовании Arancon et al., (2005) доказали, что коммерческие вермикомпосты, полученные из пищевых отходов, значительно подавляют заражения и повреждения тлей, мучнистыми насекомыми и гусеницами белокочанной капусты. Они смешали вермикомпосты с MM360 в соотношении: 100% MM360: 0% вермикомпоста, 80% MM360: 20% вермикомпоста и 60% MM360: 40% вермикомпоста для выращивания перца, томатов и капусты. Показатели замещения 20 и 40% вермикомпостов значительно подавляли популяции тли (*M. persicae*) и мучнистых клопов (*Pseudococcus spp.*) на перце и мучнистых клопов на томатах. Замена вермикомпоста значительно уменьшила потери сухого веса перца после заражения тлей и мучнистыми клопами, а также сухого веса томатов после заражения мучнистыми клопами. Снижение потерь листовой площади рассады капусты в ответ на заражение белокочанной гусеницей (*P. brassicae*) было значительным.

Arancon et al., (2007) продолжили изучать вермикомпосты, производимые промышленным способом из пищевых отходов, на предмет их способности подавлять популяции и наносить вред растениям двухпятнистыми паутинными клещами (*Tetranychus urticae*) на бобовых и баклажанах, мучнистыми клопами (*Pseudococcus spp.*) на огурцах и томатах и тлей (*M. persicae*) на капусте в теплице. Они обрабатывали вермикомпостом, смешанным с 0, 10, 20, 40 и 80% ММ360. Почти все методы лечения подавляли популяции членистоногих вредителей и значительно уменьшали ущерб, который они наносили. Они заявили, что вермикомпосты делают растения менее привлекательными для вредителей, а также значительно снижают их размножение с течением времени.

Yardim et al. (2006) оценили влияние вермикомпоста из пищевых отходов на популяции взрослых полосатых огуречных жуков (*Acalymma vittatum*) и пятнистых огуречных жуков (*Diabotrica undecimpunctata*) на огурцы и личиночных роговых червей (*Manduca quinquemaculata*) на томаты в тепличных и полевых экспериментах. В полевых условиях выращивались растения огурцов и томатов с двумя различными нормами внесения (1,25 и 2,5 т га) биогумуса из пищевых отходов по сравнению с неорганическими удобрениями. Популяции полевых огуречных жуков были значительно подавлены на растениях огурцов, обработанных вермикомпостом из пищевых отходов при обоих нормах внесения. В теплице растения огурцов и томатов выращивали в ММ360 смешанным с 0, 20 или 40% биогумусом из пищевых отходов. Как замена вермикомпоста на 20, так и на 40% значительно уменьшили повреждение огуречными жуками листьев огурцов и роговыми червями листьев томатов.

Эксперименты на растительных членистоногих вредителях были проведены на двухпятнистом паутинном клеще: *Tetranychus persicae* (Arancon et al., 2007). Либо термофильный, либо вермикомпостный чай распыляли на рассаду томатов, а затем вредителей выпускали в клетки, в которые

помещали рассаду. Эффективность вермикомпостного чая превосходила эффективность термофильного компостного чая в экспериментах с обоими вредителями растений. Хотя вермикомпостный чай значительно предотвращал повреждения растений, вызванные обоими вредителями, термофильный компостный чай не влиял на борьбу с обоими вредителями. Эти результаты соответствуют результатам, полученным в отношении эффективности контроля твердого вермикомпоста на той же группе вредителей растений, что паутинный клещ и тля (Arancon et al. 2007).

Edwards et al. (2009) недавно опубликовали статью, целью которой было выявить влияние экстрактов водных биогумусов на численность и повреждения зеленой персиковой тлей (*M. persicae*), цитрусовыми мучнистыми червецами (*Pseudococcus citri*) и двупятнистыми паутинными клещами (*T. urticae*), поражающими томаты и огурцы в теплице. Соотношение биогумуса и воды составляло 1:5, что давало 20%-ный водный раствор. Воздействие экстрактов биогумуса в разведение 20, 10 и 5% соответственно применяли к растениям в виде почвенных поливов для увеличения урожайности при прорастании, а затем с еженедельными интервалами. Все экстракты биогумуса значительно подавляли размножение вредителей на растениях и темпы размножения всех 3 видов вредителей. Они также привели к гибели некоторых вредителей на растениях, получавших более высокие нормы внесения экстракта после 14 дней обработки. Чем выше была норма внесения экстракта, тем сильнее было подавление вредителей. Они пришли к выводу, что наиболее вероятной причиной неприемлемости растений для вредителей и снижения размножения и смертности было поглощение растворимых фенольных веществ из экстрактов биогумуса тканями растений. Известно, что эти соединения делают растения непривлекательными для вредителей и снижают темпы размножения и выживания вредителей.

1.10 Механизмы борьбы с вредителями растений с помощью продуктов из биогумуса

Механизмы, с помощью которых вермикомпост подавляет атаки вредителей растений, все еще являются спекулятивными, как указано Edwards et al., (2004). Два из механизмов, которые были предложены исследователями для уменьшения атак вредителей, основаны на различной доступности минеральных питательных веществ для растений и на изменениях в балансе доступных питательных элементов, которые могут повлиять на аспекты морфологии и физиологии растений таким образом, чтобы сделать растения более устойчивыми к атакам вредителей (Patriquin et al., (1995). Изменение характеристик питательных веществ и баланса растений в ответ на биогумусы, возможно, обусловлен содержанием фенола в листьях растений. Органический азот, выделяемый медленнее из органических удобрений, т.е. вермикомпостов, чем из неорганических удобрений, делает растения менее восприимчивыми к нападениям членистоногих (Patriquin et al., 1995). Arancon et al., (2007) описали возможные механизмы подавления членистоногих твердыми вермикомпостами, включая форму азота, доступную в тканях листьев, их влияние на доступность микроэлементов и возможное производство фенолов растениями после их применения, что делает ткани неприятными на вкус. Они выдвинули гипотезу о снижении численности насекомых – вредителей и повреждении растений, выращенных с помощью вермикомпостов, как в тепличных, так и в полевых экспериментах (Yardim et al., 2006), это объясняется изменениями в форме N, контролирующего снижение скорости высвобождения минеральных питательных веществ и, в частности, производством фенольных соединений за счет использования биогумусных компостов. Необходимы дальнейшие исследования для подтверждения этой гипотезы и дальнейшего выявления механизмов, с помощью которых вермикомпост подавляет питание и размножение членистоногих вредителей.

Edwards et al., (2004) описали ряд возможных механизмов уменьшения популяции паразитических нематод растений с помощью твердых биогумусных компостов. Они указали на возможность взаимодействий хищника и жертвы, уменьшающих плотность популяции паразитических нематод растений. Эти вермикомпосты могут увеличить численность всеядных нематод или членистоногих, которые избирательно охотятся на нематод – паразитов растений, или они также могут способствовать росту грибов – ловушек нематод, а также видов грибов, которые атакуют и уничтожают цисты нематод и влияют на их популяции. Другой возможностью для этого является возможность колонизации ризобактерий на корнях и уничтожение паразитических нематод растений путем производства ферментов и токсинов, которые для них токсичны. Они также упомянули о возможных последствиях биотических взаимодействий и абиотических факторов, обусловленных вермикомпостами. Таким образом, вермикомпост может содержать соединения, такие как сероводород, аммиак и нитраты, которые могут повлиять на выживание нематод вовремя вермикомпостирования.

В целом затраты на вермикомпосты, доказавшие свою эффективность при низких нормах применения (Arancon et al 2002; Yardim et al., 2006) значительно ниже, чем затраты на нематоциды и инсектициды. Кроме того, вермикомпосты являются естественным способом добавления питательных веществ и регуляторов роста растений в почву, борьбы с болезнями и предотвращения загрязнения почвы в результате применения пестицидов. Следовательно, использование вермикомпостов для борьбы с членистоногими вредителями и паразитическими нематодами имеет большой потенциал, особенно для органического производства в садоводстве и сельском хозяйстве.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в ФГБОУ «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» в период с 2015 по 2021 год.

2.1 Характеристика объектов исследования

Компостные черви *Eisenia fetida*: Эти виды дождевых червей из семейства *Lumbricidae* наиболее часто используются в вермикомпостировании и вермикультуре. Потому что они повсеместно распространены по всему миру и колонизируют органические субстраты в естественных условиях. Жизненные циклы у них короткие, они имеют широкий диапазон температур и влажности, а также являются устойчивыми дождевыми червями. Существует целый ряд причин, по которым этот вид является предпочтительным в вермикомпостировании во всем мире. Это очень распространенные виды *Eisenia* и многие органические отходы были колонизированы этими видами естественным путем. Поскольку они обладают широкой температурной устойчивостью, эти черви могут жить в органических отходах с различным содержанием влаги. Это жесткие дождевые черви, с которыми легко обращаться и в смешанных культурах видов они обычно становятся доминирующими. Так, что даже когда системы вермикомпостирования начинаются с других видов, они часто заканчиваются доминированием *E. fetida* (или *E. andrei*). Graff, (1974); Watanabe, Tsukamoto, (1976); Kaplan et al., (1980); Neuhauser et al., (1980) и Edwards С.А. (1998), подробно исследовали продуктивность, рост и популяционную биологию *E. fetida*.

E. fetida соответствует полосатой морфологии, причем область вокруг межсегментарной бороздки не имеет пигментации и выглядит бледно-желтой. Поэтому его называют тигровый дождевой червь (рис. 2.1). Его темпы роста и воспроизводства выше, чем у других дождевых червей. *E. fetida* синтропна и обычно обитает смешанными колониями в кучах навоза и вермикомпоста, и поэтому возможна гибридизация. Жизненный цикл и

популяционная биология *E. fetida* в различных органических отходах были исследованы рядом авторов (Watanabe, Tsukamoto, 1976; Hartenstein et al., 1979; Edwards, 1998; Reinecke, Viljoen, 1990; Dominguez, Edwards, 1997; Monroy et al., 2009)



Рис. 2.1 – Компостный червь *Eisenia fetida*

Оптимальная температура для роста составляет 25°C. Они могут переносить широкий диапазон условий увлажнения, оптимальное содержание влаги для этих видов составляет 75 – 80 %. В оптимальных условиях продолжительность их жизненного цикла колеблется от 45 до 51 дня. Время достижения детенышами половой зрелости колеблется от 17 до 30 дней. Соположение у этого вида происходит в подстилке или отходах. Откладка коконов начинается через 48 ч после спаривания, а норма выработки коконов составляет 0,35 – 0,5 в сутки. Жизнеспособность вылупления составляет 72 – 82%, а инкубационный период колеблется от 18 до 35 дней. Число молодых дождевых червей, вылупляющихся из жизнеспособных коконов, колеблется от 2,0 до 3,9 в зависимости от температуры. В контролируемых условиях средняя продолжительность жизни составляет 594 дня при температуре 18°C и 589 дней при температуре 28°C с максимальной продолжительностью жизни от 4,5 до 5 лет, хотя в естественных условиях она может быть значительно короче.

Экстракт биогумуса или вермичай – это высококонцентрированный биогумус (вытяжка из биогумуса). Содержит живую микрофлору, миллиарды почвенных микроорганизмов и спор, почвенные антибиотики, микро- и макроэлементы, гуматы, фульвокислоты, аминокислоты, фитогормоны, ферменты, витамины, гормоны роста и развития растений. Является жидким удобрением и используется в качестве внекорневого опрыскивания, получаемого путем пропускания воды через колонки вермикультурных пластов (Ismail, 1997).

Навоз крупного рогатого скота и лошадей: Подстилочный навоз состоит из твердых и жидких выделений животных и подстилки. Состав и удобрительная ценность его зависят от вида животных, состава кормов, качества и количества подстилки и способа хранения навоза.

Количество и соотношение твердых и жидких выделений животных и их состав значительно различаются у отдельных видов скота. У лошадей в 3,5 раза, а у крупного рогатого скота в 2,5 раза больше твердых, чем жидких выделений.

Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по составу и удобрительным качествам. В жидких выделениях содержится больше азота (0,4 – 1,9%) и калия (0,5 – 2,3%), чем в твердых (0,3 – 0,6 и 0,1 – 0,3% соответственно), а фосфора, наоборот, значительно больше в твердых выделениях (0,17 – 0,41%), чем в жидких (0,07 – 0,1%). Подавляющее количество фосфора, выделяемого из организма животных, находится в кале, а основная часть калия и азота – в жидких выделениях. Азот и фосфор в твердых выделениях содержатся в составе органических соединений и переходят в доступную для растений форму после их минерализации. В жидких выделениях элементы питания представлены в растворимой, легкодоступной для растений форме. На состав и соотношение твердых и жидких выделений животных влияют количество и качество потребляемых кормов. Чем больше скармливается сочных кормов и выше их влажность, тем

больше жидких выделений. Чем лучше корм переваривается, тем меньше сухого вещества содержится в твердых выделениях. При увеличении количества концентрированных кормов возрастает содержание в навозе азота и фосфора. В среднем из потребляемого животными корма в навоз переходит около 40% органического вещества, 50% азота, 80% фосфора и до 95% калия.



Рис. 2.2 – Конский навоз

Содержание питательных элементов в навозе зависит от вида животных. Навоз лошадей содержит меньше воды и больше органического вещества, а также азота, фосфора и калия, чем навоз коров. Для увеличения выхода навоза и повышения его качества большое значение имеют вид и количество подстилочного материала. Подстилка улучшает физические свойства навоза, впитывает мочу и поглощает образующийся при ее разложении аммиак, что уменьшает потери азота. Особенно важное значение имеет способность подстилки поглощать жидкость и газы. Содержание в ней азота и зольных веществ также сказывается на качестве навоза (рис. 2.2).

Для подстилки применяют солому злаковых культур и торф или торфяную крошку, режу – древесные стружки и опилки. Средние суточные

нормы подстилки соломы злаковых культур и мохового торфа на одну голову составляют соответственно (в кг): для коров – 4 – 6 и 5 – 8, лошадей – 2 – 4 и 3 – 5. С увеличением количества подстилки для коров с 2 до 6 кг почти в 1,5 раза возрастает накопление навоза и в 3 – 4 раза уменьшаются потери азота при его хранении с 46 до 12 %.

Ценный подстилочный материал – торф. Он содержит в 3 – 4 раза больше азота, чем солома, и обладает значительно большей поглотительной способностью. Он почти полностью поглощает мочу и образующийся при ее разложении аммиак. Навоз на торфяной подстилке содержит меньше калия, но больше общего и аммиачного азота, чем навоз на соломенной подстилке. Эффективность его значительно выше, особенно на дерново–подзолистых почвах.

Чаще всего для подстилки используют солому в виде резки длиной 8 – 15 см. В этом случае она больше впитывает мочи, равномернее увлажняется и навоз получается более однородный, плотнее укладывается в штабель и при хранении теряет меньше азота, его удобнее вносить в почву и можно равномернее распределить по полю. Потеря азота из такого навоза уменьшается почти в 2 раза, а эффективность повышается примерно в 1,5 раза.

Бесподстилочный навоз. При ограниченном использовании подстилочного материала (до 1 кг на корову в сутки) получают навоз влажностью до 85 – 87 %. Накопление смеси твердых и жидких выделений животных при небольшом количестве подстилки позволяет полностью механизировать очистку животноводческих помещений. Однако получаемый навоз имеет неблагоприятные для транспортировки и внесения физические свойства. Потери азота из такого навоза даже при хранении в закрытых навозохранилищах достигают больших размеров, и перед внесением в почву требуется предварительное компостирование его с торфом или землей.

Выход бесподстилочного навоза от одной головы крупного рогатого скота составляет обычно 50 – 60 л в сутки (30 – 35 л кала, 15 – 20 л мочи, 5 л технологических вод). В производственных условиях за счет технологических вод выход навоза по сравнению с количеством экскрементов животных может увеличиваться и в большей степени на 25 % (рис. 2.3).



Рис. 2.3 – Бесподстилочный навоз КРС

Неразбавленный жидкий навоз крупного рогатого скота, полученный на больших фермах, соответственно, содержит (в %): сухого вещества 10 – 11,5, азота 0,4 – 0,43, фосфора 0,28 – 0,2, калия 0,45 – 0,5, магния – по 0,1, кальция – 0,15, натрия – 0,12. При скармливании животным концентрированных кормов получаемый навоз отличается повышенным содержанием питательных веществ.

В бесподстилочном навозе от 50 до 70 % азота находится в аммонийной форме, хорошо доступной растениям сразу после внесения. Поэтому коэффициент использования азота бесподстилочного навоза и действие его на урожай в год внесения выше, чем подстилочного навоза, а последствия, наоборот, слабее. Фосфор и калий навоза растения используют не хуже, чем

из минеральных удобрений. Бесподстилочный навоз по эффективности не уступает подстилочному, полученному из такого же количества исходных экскрементов.

Опад березы. Береза – это листопадное дерево, высотой до 20 м, с белой, легко расслаивающейся корой. Листья очередные, треугольно-яйцевидные или яйцевидно-ромбические с широким клиновидным или почти усеченным основанием, по краям двояко-острозубчатые, молодые листья клейкие.



Рис. 2.4 – Листовой опад

Листья березы содержат эфирное масло (до 0,8%), в состав которого входят: сесквитерпеновый спирт бетулол (25 – 47%) и его эфиры с уксусной кислотой (30 – 40%): бициклический сесквитерпеновый лактон бетулен, тритерпеновые бициклические спирты, тритерпеноид бетулин (рис. 2.4).

Также в листьях содержатся флавоновые и флавоноловые гликозиды (1,96 – 5,56%): гиперозид, рутин, авикулярин; дубильные вещества, кумарины, фенолкарбоновые кислоты, витамины Е, С, РР, каротиноиды.

Листовой опад деревьев – озеленителей как древесный отход имеет высокий энергетический потенциал. В последнее время также вызывает интерес биотехнологии промышленной переработки органических отходов с помощью специализированных дождевых червей в биогумус. Дождевые

черви (*Lumbricidae*) – это крупные почвенные беспозвоночные животные, благодаря которым создаются почвы. Они питаются мёртвыми разлагающимися растительными тканями, которые поступают в почву в виде опада, корневых и пожнивных остатков.

Поглощая вместе с почвой огромное количество растительного детрита, микробов, простейших и т.д. черви переваривают их. Со своими испражнениями они выделяют большое количество собственной кишечной микрофлоры, ферментов, витаминов, биологически активных веществ, которые обладают антибиотическими свойствами, препятствуют развитию болезнетворной микрофлоры, подавляют гнилостные процессы, обеззараживают почву.

Разнотравье: Ботанический состав. Качество и урожайность разнотравья во многом зависят от ботанического состава травостоя. При ботаническом анализе принято различать следующие группы растений: злаки, бобовые, разнотравье съедобное. Кормовые достоинства этих групп неодинаковы, и питательная ценность их в значительной степени определяется их количественным соотношением.

Злаки составляют одну из наиболее ценных частей разнотравья. Своевременно кошенные, они имеют хороший химический состав, быстро сохнут, прекрасно сохраняются и дают хорошее сено без пыли и трухи, пригодное для всех видов сельскохозяйственных животных (рис. 2.5).



Рис. 2.5 – Разнотравный луг

К лучшим злакам (I класса) относятся: лисохвост луговой, тимофеевка, ежа сборная, овсяница луговая, пырей, мятлик, полевица белая, манник.

К злакам II класса принадлежат средние по питательному достоинству растения: гребенник, овсец, перловник, овсяница красная, канареечник, костер, лисохвост коленчатый, полевица обыкновенная, трясунка, душистый колосок.

К III классу низкого питательного достоинства относятся злаки: вейник, белоус, тростник, волоснец.

Сильно снижают кормовые качества разнотравья: осоки, камыши, ситники. Все они, особенно убранные после цветения, малосъедобные, отчасти вследствие содержания в них эфирных масел с неприятным запахом, но главным образом из-за жесткости и грубости. Пропитанные кремнеземом осоки сильно раздражают и вызывают воспаление слизистой оболочки пищеварительного канала животных.



Рис. 2.6 – Разнотравный луг

Бобовые растения являются очень питательной составной частью разнотравного сена. Они повышают в сене содержание протеина и кальция, однако при уборке и хранении легко теряют листочки и увеличивают в сене количество трухи. Из бобовых лучшими считаются: люцерна, клевер, вика, чина, эспарцет и др. (рис. 2.6).

Разнотравье съедобное объединяет растения всех семейств. Поздно скошенное, одревеневшее разнотравье имеет низкую питательность, так как при уборке теряются листья растений и в сене от них остаются одни стебли. Среди разнотравья этой группы есть растения, присутствие которых в сене в небольшом количестве желательно для улучшения вкуса и возбуждения аппетита у животных. Например, кровохлебка, манжетка, тмин, пастернак, поречник, тысячелистник, василек, кульбаба, одуванчик, подорожник, борщевик и др.

Газонная трава

У пастбищного райграса есть как многолетние, так и двулетние разновидности. Основная его непохожесть на другие виды плевела – это

наличие и генеративных, и вегетативных побегов, в то время как у большинства остальных райграсов все побеги генеративные. Если вы выращиваете траву пастбищный райграс на своем участке, будьте осторожны: пыльца этого растения крайне аллергенна.

Райграс пастбищный, или райграс английский (*Lolium perenne* L.) имеет широкий ареал распространения, охватывая Европу, Переднюю Азию и Западную Африку.

В России распространен повсеместно, но наиболее часто встречается в южных областях Западной Сибири. Растет преимущественно в лесостепной зоне в районах с мягким влажным климатом. Хорошо произрастает на влажных лугах речных пойм с богатыми суглинистыми и глинистыми почвами, на лугах долин, а также на суходольных лугах с окультуренными богатыми почвами. Мезофит.

Райграс пастбищный – это длиннокорневищный многолетник высотой 20 – 40 см со сложной системой ветвящихся корневищ и многочисленными придаточными корнями, развивающимися из узлов.



Рис. 2.7 – Райграс пастбищный

Образует рыхлые дерновинки с многочисленными генеративными и вегетативными побегами. Листья линейные, плоские или сложенные вдоль, с

пленчатым язычком. Соцветие – колос 5 – 20 см в длину. Колоски расположены по одному в 2 продольных ряда. Цветет с мая по сентябрь. Зерновки созревают с августа (рис. 2.7).

Колоски сидят на зарубках колосового стержня без ножек, поодиночке, прижавшись к стержню узкой стороной ребра. Колоски без остей 8 – 10 цветковые. Стебель под соцветием гладкий. Семена крупные, недостаточно текущие.

Райграс пастбищный в год посева быстро развивается, быстро отрастает после стравливания. Устойчив к выпасу. В Англии является основным растением многолетних пастбищ. При сенокосном использовании на 3 – 4 год погибает. Более долговечен при пастбищном использовании (5 – 7 лет). Введен в культуру.

Эту траву нельзя назвать прихотливой к условиям произрастания. Особенно хорошо она растет в районах с мягким умеренным климатом. Райграс пастбищный не выносит засухи, длительного затопления, бесснежных зим и особенно поздних весенних заморозков. Хорошо отзывается на поверхностное орошение, но не выносит близкого стояния грунтовых вод.

Биохимическая характеристика газонной травы

Показатели	Значение
Сухое вещество, г	803
Сырой протеин, г	72,2
Лизин, г	3,47
Метионин + цистин, г	3,97
Сырая клетчатка, г	276,9
Крахмал, г	6,89
Сахара, г	13,02
Биологические экстрактивные вещества (БЭВ), г	383
Сырой жир, г	17,7
Кальций, г	4,6
Калий, г	13,65

Фосфор, г	1,8
Магний, г	1,37
Натрий, г	1,53
Железо, г	119,65
Медь, мг	4,82
Цинк, мг	21,68
Марганец, мг	77,09
Каротин, мг	11
Витамин d (кальциферол), тыс. МЕ	221,6
Витамин е (токоферол), мг	306,7
Витамин B1 (тиамин), мг	1
Витамин B2 (рибофлавин), мг	4,1
Витамин B3 (пантотеновая кислота), мг	9,5
Витамин B4 (холин), мг	342,9
Витамин B5 (никотиновая к-та), мг	13,6

2.2 Экспериментальное проектирование

1. Проведены исследования трех плотностей популяции дождевых червей и трех уровней кормления. Плотность популяции исследована на уровне 0,90, 1,50 и 2,10 кг червей/м², а нормы кормления изучены на уровне 0,6, 1,0 и 1,4 кг корма/кг-червей/день. Результаты или ответы, которые должны быть исследованы, были следующими: стабильность продукта, биомасса червя, рН, питательные вещества N и P.

Эксперименты проводились в червячных контейнерах размером 0,6м x 0,4м x 0,3м (длина x ширина x глубина). Это обеспечило 0,24 м² открытой верхней поверхности. Каждая начальная численность дождевых червей (*Eisenia fetida*) была введена в подобный контейнер, чтобы обеспечить желаемую плотность популяции. Для достижения трех желаемых плотностей популяции нагрузка живой биомассы дождевых червей составляла 0,22 (900 шт.), 0,36 (1500 шт.) и 0,5 (2100 шт.) кг соответственно. Исследования проводились в трех повторениях для каждой из трех плотностей популяции.

Каждой из трех повторов для избранной плотности популяции был скормлен определенный объем корма.

Сначала дождевые черви в контейнерах питались в течение 2 недель без добавления корма, а затем непрерывно добавляли корм еженедельно до 9 недели. В течение 9 недель корм состоял из одного компонента органических отходов (навоз КРС, конский навоз, лиственный опад, разнотравье и газонная трава) по сухому весу. Эксперименты проводились в среде, температура которой составляла $24 \pm 3^\circ\text{C}$. Субстрат в контейнерах поддерживался влажным путем опрыскивания поверхности водой каждые 2 дня с помощью распылителя. Во всех контейнерах влажность поддерживалась на уровне $75 \pm 2\%$. При каждой подаче корма определяли его параметры: влажность исходного материала, pH. Эксперименты прекращали в конце 9 недели, после чего червей отделяли от вермикомпоста и определяли общую биомассу червей.

Продолжительность эксперимента была выбрана таким образом, чтобы совпадала с приблизительным временем генерации *Eisenia fetida*, то есть с началом 3 поколения дождевых червей (Hartenstein, Hartenstein, 1981; Gaddie, Douglas, 1977; Edwards, 1988). Рост биомассы *Eisenia fetida* был принят за увеличение общей биомассы дождевых червей, собранной из вермикомпостированного материала. Значения определяли после ручной сортировки и удаления всего постороннего материала. Биогумус анализировали на содержание pH, зольность, влажность, и питательные вещества (N и P). Вермикомпост в данной работе относится к смеси червячных отливок, переваренных, а также непереваренных органических отходов.

2. Исследование влияния органических остатков, таких как навоз крупного рогатого скота, навоз лошадей, опад березы, разнотравье, газонная трава, на процесс вермикультивирования и получения готового продукта

биогумуса и на динамические процессы развития популяции *E. fetida* и их потомства.

Вермикомпостирование проводилось в теплом закрытом помещении подвального типа с применением пластиковых контейнером площадью 0,24 м², имеющих отверстия с боковых сторон и на дне, в которые постепенно добавляли кормовой субстрат. После этого контейнеры накрывались гофрированной пленкой со всех сторон для обеспечения необходимого микроклимата (температура, влажность). Подготовку субстрата проводили следующим образом: все органические отходы оставляли цельными или дробили на измельчителе. Затем заливали 10% экстрактом биогумуса, содержащим микрофлору *Eisenia fetida*, и перемешивали один раз в 5 дней в течении 2 недель. После этого запускали червей вида *Eisenia fetida* из расчета 5000 взрослых молодых червей на 1 м². Для поддержания постоянной влажности компост поливали 1 раз в 2 дня. При этом весь процесс обработки субстрата составлял 12 – 14 дней.

Факторами климата для разведения данных объектов являются влажность 75 – 80%, температура 18 – 23°C, pH 6,8 – 7,5 и активная аэрация.

Вермикомпостированию подвергались свежие отходы коров и лошадей, которые были собраны с животноводческих ферм, расположенных в окрестностях города Тюмени. Навоз состоял из смеси фекалий и мочи без какого-либо подстилочного материала. Субстрат перед использованием на корм червям предварительно измельчали и заливали экстрактом биогумуса. Через 12 – 18 дней в подготовленный субстрат закладывали эксперимент в 4 повторениях.

Газонную траву, разнотравье и опад листьев закладывали на ферментацию в измельченном и неизмельченном виде. Для ускорения ферментации использовали экстракт биогумуса.

Измельченная газонная трава приходила в состояние готового субстрата через 9 – 12 дней, неизмельченная газонная трава через 15 – 18 дней.

Измельченное разнотравье превращалось в готовый субстрат через 15 дней, а неизмельченное через 30 дней. В результате закладывали по 2 опыта, с измельченной и неизмельченной газонной травой и разнотравьем на вермикомпостирование в 4 повторениях. Длительность опыта была более 5 месяцев.

Адаптивные способности дождевых червей оценивали по следующим показателям: поведение червей в субстратах и их окраска (визуально), численность особей, находящихся на различных стадиях развития. Плотность особей, находящихся на различных стадиях развития, в опытах определяли через 2, 4, 9, 15 и 21 неделю. Для этого в шахматном порядке в ящиках в 3 местах брали пробы, накладывая рамку размером 10 x 10 см. Субстрат вынимали на всю глубину и учитывали численность взрослых, молодых червей и количество коконов. Структуру популяции изучали по соотношению всех стадий развития.

Коконы выдерживали в стабильных и оптимальных условиях (20 – 23°C и 77 – 80%). Температура и влажность измерялись электронными датчиками в сосудах для инкубации.

3. Исследовать влияние экстрактов биогумуса на рост и развитие овощных культур в условиях Северного Зауралья. Объектами этого исследования являются экстракты биогумуса различных субстратов, переработанных компостными червями *E. fetida*, семена огурца сорта «Конкурент», семена томата сорта «Дубрава».

Экстракт биогумуса или вермичай – это высококонцентрированный биогумус (вытяжка из биогумуса). Содержит живую микрофлору, миллиарды почвенных микроорганизмов и спор, почвенные антибиотики, микро- и макроэлементы, гуматы, фульвокислоты, аминокислоты, фитогормоны, ферменты, витамины, гормоны роста и развития растений.

Исследования проводились в лабораторных условиях. Семена овощных культур выращивались в чашках Петри в световом шкафу при температуре

25°C. Количество семян на 1 чашку Петри составляло 25 штук, в 4 повторениях (рис. 2.8).

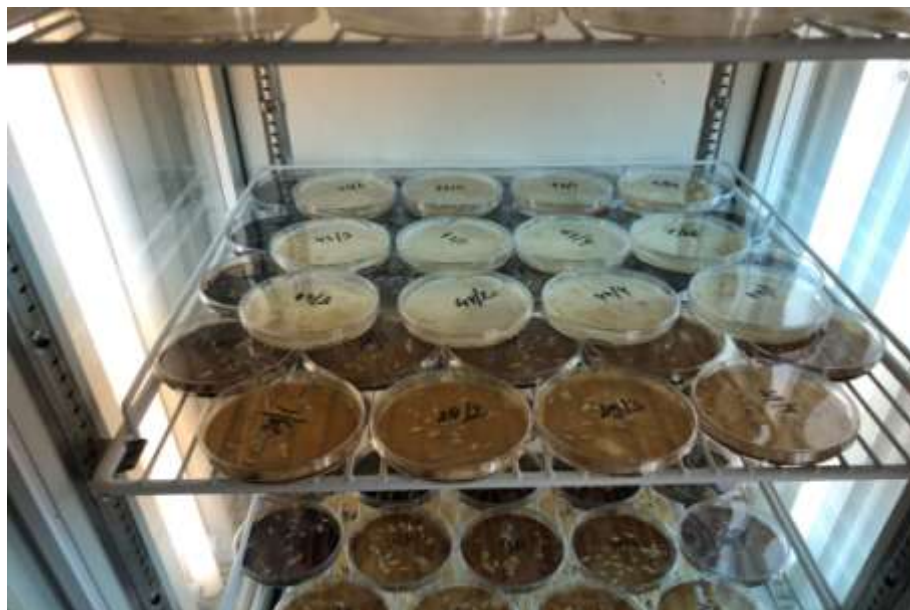


Рис. 2.8 – Проращивание семян огурца в климакамере

Использовались не фильтрованные экстракты биогумуса навоза крупного рогатого скота, конского навоза, опада березы, разнотравья, газонной травы в различных соотношениях: 50% экстракта биогумуса:50% дистиллированной воды, 25% экстракта биогумуса:75% дистиллированной воды, 10% экстракта биогумуса:90% дистиллированной воды. Расчеты длины стеблей проводились на 10 день вручную с помощью линейки.



Рис. 2.9 – Пророщенные семена томата в различных экстрактах биогумуса

Через 10 дней проводилась высадка рассады. Высаживались растения в 4 повторениях из каждой концентрации. Для опыта была использована следующая почвосмесь: смесь торфа, биогумус, песок речной термически обработанный. Рассаду выращивали при комнатной температуре. Почвосмесью наполняли горшки высотой 10 см, объемом 0,22 л. Повторность опыта – 4 кратная. Высадка производилась в начале июня каждый год с 2017 по 2021 год. Растения поливали экстрактом биогумуса в заданном соотношении по мере высыхания грунта. В период выращивания производились измерения биометрических показателей высоты растений и площади листовой поверхности на 10, 20, 30 день с помощью линейки (рис. 2.9).

4. Эксперименты с паутинным клещом проводились в частных теплицах в окрестностях г. Тюмени. Огурцы сорта «Конкурент» были посеяны и выращены в опытном тепличном контейнере на почве, которую регулярно поливали экстрактом биогумуса с различными концентрациями (10%, 25%) на основе конского и КРС навозов, опада листьев (в основном березовых), газонной травы и разнотравья. В контрольном варианте для полива использовалась чистая вода с той же частотой полива. В каждом эксперименте проверяли влияние различных концентраций экстрактов биогумуса на одном членистоногом вредителе – двупятнистом паутинном клеще (*Tetranychus urticae*).

30 семян огурца были посеяны на отдельный участок, содержащий одинаковую почвенную смесь. Первый участок был удален от второго на 6 метров. На первом участке было выделено 6 групп растений, 5 из которых поливались различными экстрактами, а 1 чистой водой. Рассаду прореживали до 12 растений через 7 дней после посева. Каждая группа состояла из 2 растений. Одно растение поливали 10% экстрактом, а второе 25%. Полив проводился одновременно как почвы, так и растения. На втором контрольном участке выращивали только 1 группу, состоящую из 2 растений, которая

поливалась только чистой водой. Все растения могли подвергаться одинаковому воздействию вредителя – двупятнистого паутинного клеща (*Teranychus urticae*). Проверку эффективности экстрактов биогумусов на паутинного клеща проводили в начале на 2 и 4 день, а затем через 7 дней. Эксперимент проводили в течении 2 месяцев.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета ПО MS Office 2016.

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Агрохимические свойства исходных субстратов и экстрактов биогумуса

Исходное сырьё (навозы и фитомасса) используемое для вермикомпостирования, было различным, что предполагает отличия агрохимического состава конечных продуктов. Проведенные агрохимические исследования сырья и экстрактов биогумуса подтвердили происходящие изменения в субстрате при использовании процедуры вермикомпостирования. Как видно из таблицы 3.1, подготовленные виды субстратов характеризовались кислой реакцией среды, а экстракты биогумуса – нейтральной реакцией среды за счёт выделения из субстратов кальция в процессе биоконверсии, что согласуется с данными других авторов (Лазарчик В.М., Головков А.М. и др., 2005, Петроченко, 2018, Petrochenko et al, 2019). Субстраты характеризовались разным количеством элементного состава. Так, самое большое количество углерода отмечено в субстрате навоза КРС и лошадей, калия – в субстрате разнотравья, фосфора – в субстрате газонной травы, а азота – в субстрате разнотравья.

Таблица 3.1 – Агрохимическая характеристика субстратов

Показатели		КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье
pH		7,9±0,4	7,5±0,3	7,7±0,4	8,4±0,	8,6±0,3
N	Общий, %	1,1±0,2	0,9±0,1	1,3±0,1	0,8±0,1	1,2±0,1
P		0,47±0,05	0,41±0,10	0,99±0,05	1,72±0,10	1,55±0,10
K		0,98±0,05	0,89±0,05	0,78±0,05	1,56±0,05	1,70±0,05
Сорг		44,3±0,8	44,6±0,8	41,1±0,8	36,2±1,2	38,4±1,2
C:N		40,3±0,7	49,5±0,5	31,6±0,8	45,5±0,9	32,1±0,5

Высоким содержанием общего азота отличались биогумусы, приготовленные на основе конского навоза, опада листьев и разнотравья.

Максимальное количество общего фосфора, характерного для биогумуса, было выработано на основе газонной травы и разнотравья (таблица 3.2).

Биогумусы характеризовались почти одинаковым количеством общего углерода, кроме биогумуса из разнотравья и газонной травы, хотя в субстратах из разнотравья и газонной травы было отмечено самое низкое содержание углерода.

Таблица 3.2 – Агрохимическая характеристика биогумуса

Показатели		КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье
pH		7,0±0,4	7,0±0,3	7,2±0,4	7,3±0,3	7,2±0,3
N	Общий, %	1,3±0,2	1,4±0,1	1,4±0,1	1,3±0,1	1,4±0,1
P		0,94±0,05	1,11±0,10	1,15±0,1	1,32±0,10	1,35±0,10
K		1,12±0,05	1,18±0,05	1,16±0,05	1,41±0,05	1,55±0,05
Сорг		31,7±0,8	31,6±0,6	30,1±0,7	32,9±0,5	33,7±0,9
C:N		24,4±0,7	22,6±0,3	21,5±0,9	25,3±0,9	24,1±0,5

Кроме приведенных в таблице показателей, на образцах биогумуса были проведены анализы по отсутствию в образцах патогенной микрофлоры кишечной группы, личинок и яиц гельминтов. Это свидетельствует об экологической безопасности биогумуса, возможности его широкого применения в сельском хозяйстве в качестве источника органического углерода, общего азота, подвижного фосфора и обменного калия.

Обобщая полученные данные, следует отметить, что биогумусы, по сравнению с исходными субстратами имеют ряд преимуществ по химическому составу. Они характеризуются нейтральной реакцией среды, очень высоким количеством элементов минерального питания и благоприятным соотношением C:N, варьирующим от 21 до 25, в отличие от исходных отходов сельского хозяйства и фитомассы, где оно доходило до 50, а иногда и более (Edwards et al., 2011).

3.2 Подготовка субстратов для вермикультивирования из сельскохозяйственных отходов и городской фитомассы

В настоящее время количество агроэкологических проблем в сельском хозяйстве с каждым годом увеличивается. К ним можно отнести деградацию почвенного покрова, падение плодородия почвы и уменьшение площади сельхозугодий. В этих условиях важна интенсификация сельского хозяйства и повышение качества производимой продукции. Весьма злободневной также является проблема снижения урожайности сельскохозяйственных культур в связи с повышением числа вредителей и болезней, вследствие чего возникает необходимость внесения в почву средств химической защиты растений, что в дальнейшем негативно влияет на качество продукции и состояние почв (Гриднев, Мишуров, 1996). В результате этого возникает необходимость производства экологически чистых удобрений, которые должны, с одной стороны, способствовать стимуляции роста растений, а с другой – повышать их неспецифическую устойчивость к вредителям, болезням и стрессам. Именно к таким органическим удобрениям относится биогумус – продукт переработки органических субстратов дождевыми червями (Терещенко, Бубина, 2007).

Технологии утилизации отходов хозяйственной деятельности человека и использование дождевых червей для производства органических удобрений из этих отходов в настоящее время приобретает глобальный характер (Tripathi, Bhardwaj, 2004). За последние годы была проведена колоссальная работа по отбору видов и гибридов червей, наилучшим образом подходящих для технологии вермикомпостирования. В большинстве своем дикие виды дождевых червей характеризуются достаточно длинным репродуктивным циклом, не отличаются высокой плотностью в популяциях и весьма требовательны к стабильным и постоянным условиям среды, включая сложные пространственные структуры нор и ходов. Использовать их в технологических процессах сложно, а в большинстве случаев практически

невозможно (Stewart, 2004). Наиболее продуктивным и подходящим для технологии переработки навоза оказался компостный червь *Eisenia fetida*. Этот вид распространен повсеместно, легко адаптируется к различным органическим субстратам (Всеволодова-Перель, 1997). По своей сути вид *Eisenia fetida* является лабораторной технической культурой с целым рядом преимуществ: по плодовитости и активности существенно превосходит многие другие виды дождевых червей и хорошо поддается выращиванию в искусственных условиях, являясь источником технологически удобных культур (Петрова и др., 2004).

Научные работы в отечественной литературе в основном посвящены использованию червей *Eisenia fetida* только на богатых органикой однородных субстратах. Подготовка таких сред для культивирования требует дополнительных затрат труда (Armour-Chelu, Andrews, 1994). Таким образом, мировой тренд ведения вермикультуры заключается в переработке червями *Eisenia fetida* навоза животноводческих, птицеводческих комплексов, фермерских и подсобных хозяйств. До сих пор как в сельскохозяйственной практике, так и в научных исследованиях относительно слабо представлено направление вермикомпостирования, при котором ведётся переработка бедных азотом субстратов с высоким содержанием целлюлозы. Уже достаточно давно существуют идеи о решении технологических задач подобного типа с помощью вермикультуры.

Несмотря на высокую эффективность переработки навоза вермикультурой и ценность продуктов вермитехнологии, остаются малоизученными вопросы улучшения их экологического качества при массовом производстве биогумуса в различных регионах страны.

Особенности функционирования городских почв в значительной степени обусловлены современными приемами содержания городских территорий. Что проявляется в замещении естественных растительных сообществ на искусственные монодоминантные посадки древесных пород и

газонных травяных смесей, а также в регулярном изъятии растительных остатков и подстилки. Это обусловлено правилами содержания газонов и санитарными требованиями, однако постепенно может приводить к истощению органического вещества почв и элиминации значительной части обитателей подстилочного и почвенного ярусов, например, беспозвоночных и грибов (Колесникова, 2008; Рахлеева, 2008; Douglas et al, 2011).

Минерализация почв на урбанизированных территориях приводит к изменениям состава почвенной биоты (Артамонова, 2002; Кузнецова, 2005; Лысак, 2010), механизмов и скоростей трансформации растительных остатков в почвах (Экологические функции городских почв, 2004; Смагин, 2010). Почва является необходимым условием для произрастания зеленых насаждений в городах. В результате создания газонов, цветников, высадки деревьев и кустарников происходит антропогенное нарушение верхнего почвенного слоя на разную глубину в зависимости от типа зеленого сооружения. Все типы газонов в городе должны регулярно скашиваться. В настоящее время партерные газоны необходимо стричь лишь один раз в 10 дней при высоте травостоя 6 – 10 см, а не как было ранее, не менее одного раза в 10 дней, а обыкновенные газоны – лишь при достижении травостоя 10 – 15 см. Содержание газонов включает обязательное удаление скошенной травы и опавших листьев осенью, а также после таяния снега и подсыхания почвы весной.

Таким образом, из правил эксплуатации зеленых насаждений в городах следует, что в городской среде необходим постоянный вывоз листового опада и скошенной газонной травы. Необходимость вывоза опада объясняется заботой о здоровье растений. Другой причиной необходимости вывоза опада с городских территорий называют санитарно-гигиеническую. Растительные остатки (опавшая листва, скошенная трава) должны собирать, обезвреживать, перерабатывать и потреблять для приготовления древесной

щепы, компостов, почвогрунтов и использовать в городах для сохранения биологического потенциала и для повышения плодородия городских почв.

Вследствие этого возникает необходимость производства экологически чистых удобрений, которые должны, с одной стороны, способствовать стимуляции роста растений, а с другой – повышать их неспецифическую устойчивость к вредителям, болезням и стрессам. Именно к таким удобрениям относится вермикомпост – продукт переработки органических субстратов дождевыми червями (Терещенко, 2007).

Качество копролита зависит как от исходного органического материала, являющегося субстратом для вермикультуры, так и от условий и способов вермикомпостирования. Оно характеризуется определенными качественными и количественными параметрами, которые можно контролировать (Просьянников и др., 2002; Лящев, 2015). Свойства копролита дают возможность использовать его для улучшения агрофизических показателей почвы, а также вносить совместно с посевом или посадкой растений и использовать их для подкормок в процессе вегетации (Лаплыгина, 1986).

Подготовка субстратов для компостного червя *Eisenia fetida* является одним из ключевых звеньев в технологическом цикле вермикультивирования. Известно, что от характера субстрата, от сочетания составляющих его компонентов и других факторов зависит общее состояние плотности популяции червей, интенсивность размножения и накопления биомассы, свойства, характер и количество копролита (Лящев, 2013).

Подготовленный субстрат имеет двойное значение: во-первых, это среда, в которой они обитают и осуществляют свои жизненные функции, во-вторых, это пища, благодаря которой обеспечивается вся жизнедеятельность компостных червей.

Эффективность вермитехнологии на различных субстратах в условиях Тюменской области недостаточно изучена, хотя есть ряд попыток наладить

размножение дождевых компостных червей, производство их биомассы и копролитов (Лящев, 2015; Лящев, 2013). Основным сырьём для производства копролита в аграрном секторе является навоз сельскохозяйственных животных и отходы растениеводства. Количество производимого навоза зависит от развитости животноводческой отрасли. Сельскохозяйственными животными переваривается не более 50% – 70 % употреблённых кормов, остальное количество выводится с экскрементами. Большую роль играют технологические особенности самой вермитехнологии.

В экспериментах для создания субстрата использовали навоз КРС, конский навоз, лиственный опад, разнотравье и газонную траву. Для проверки готовности созревания субстрата использовали компостного червя *Eisenia fetida* из семейства *Lumbricidae*, наиболее технологичного и приспособленного для вермикомпостирования. Для вермикультивирования использовали пластиковые контейнеры объемом 0,24 м², которые постепенно наполнялись субстратом.

Оценку адаптационных способностей червей осуществляли по следующим морфофункциональным показателям: поведение червей в субстратах и их окраску определяли визуально, число особей, находящихся на различных стадиях развития.

Как известно, в свежем навозе содержится большое количество семян сорных растений, причём в разное время года количество их бывает неодинаковым. Обсеменённость навоза КРС и лошадей семенами сорняков зависит от качества и количества потребляемого корма, направления животноводства (молочное, мясное), возраста и массы животного, вида применяемой подстилки, а также от способа удаления навоза (Марченко, 1984).

В конском навозе и навозе КРС, используемом для приготовления субстрата с целью скармливания вермикультуре, были обнаружены семена сорных растений 7 – 12 видов. В каждом килограмме конского навоза и

навоза КРС, взятом для приготовления субстрата, было обнаружено в среднем от 981 до 1251 шт. семян сорных растений. В субстрате для вермикультуры, полученном в течение 1 – 2 месяцев ферментации конского навоза и навоза КРС, количество видов семян сорных растений уменьшилось до 1 – 2.

Изучаемые приёмы получения субстрата для вермикультуры из конского навоза и навоза КРС на открытых площадках существенного снижения общего количества видов семян и количества жизнеспособных семян сорных растений не дали. В вариантах с укрыванием субстрата соломой и пленкой наблюдалась тенденция к снижению засорённости субстрата семенами по сравнению со свежим конским навозом и навозом КРС. Особенно эффективно это наблюдалось при ферментации навоза с укрыванием его плёнкой и покрытием её соломой.

Для повышения интенсивности ферментации конского навоза и навоза КРС были проведены дополнительные опыты с добавлением экстракта биогумуса, который содержит живую микрофлору, миллиарды почвенных микроорганизмов и спор, почвенные антибиотики, микро- и макроэлементы, гуматы, фульвокислоты, аминокислоты, фитогормоны, ферменты, витамины, гормоны роста и развития.

Эксперименты, связанные с получением субстратов для переработки дождевыми червями *E. fetida* из конского навоза и навоза КРС на открытой площадке, существенно снижали общее количество видов семян и количество жизнеспособных семян сорных растений. В вариантах с укрыванием субстрата соломой и пленкой + экстракт биогумуса наблюдалась тенденция к снижению засорённости субстрата семенами по сравнению со свежим навозом. Особенно эффективно это наблюдалось при ферментации навоза с укрыванием его плёнкой и поверх её соломой (табл. 3.3).

Анализируя проведенные эксперименты на открытой площадке, было отмечено, что при использовании экстракта биогумуса идет уменьшение семян сорных растений в навозе КРС при внесении экстракта на 39%, при укрывании

соломой с добавлением экстракта на 50% и при укрывании пленкой и соломой с добавлением экстракта на 55%. В тоже время в конском навозе при внесении экстракта биогумуса произошло сокращение семян на 36%, при укрывании соломой и добавлением экстракта на 51% и при укрывании пленкой и соломой с добавлением экстракта на 57%.

Таблица 3.3 – Засорённость семенами сорных растений навоза КРС, конского навоза и субстратов, полученных на открытой площадке, шт./кг

Количество семян сорных растений	Навоз	Приёмы получения субстрата		
		Перемешивание + экстракт биогумуса	Плёнка + солома + экстракт биогумуса	Солома + экстракт биогумуса
Навоз КРС				
Всего	1251,3±68,8	759,7±23,2	567,9±19,2	617,8±19,8
Жизнеспособных	1137,5±77,4	516,9±11,7	217,5±15,9	283,3±16,9
Конский навоз				
Всего	981,9±12,3	624,2±10,6	421,3±14,1	477,5±7,3
Жизнеспособных	786,7±6,1	398,5±13,3	178,9±15,7	223,7±6,6

Исследуя технологические приёмы получения субстрата для вермикультуры в теплом затемнённом помещении, было отмечено существенное снижение засорённости семенами сорных растений по сравнению со свежим конским навозом и навозом КРС (табл. 3.4).

Анализ данного эксперимента показал, что в теплом помещении интенсивность снижения в навозе КРС сорных семян идет активнее. Так, при использовании экстракта биогумуса произошло убывание семян на 38%, при использовании соломы и экстракта биогумуса на 47%, а при использовании укрывной пленки, соломы и экстракта на 60%. При рассмотрении процессов, происходящих в конском навозе, было выявлено, что при использовании экстракта биогумуса количество семян уменьшилось на 42%, при использовании соломы и экстракта на 57%, а при использовании укрывной пленки, соломы и экстракта на 76%.

Таблица 3.4 – Засорённость семенами сорных растений конского навоза и субстратов, полученных в теплом затемнённом помещении, шт./кг

Количество семян сорных растений	Навоз	Технологический приём получения субстрата		
		Перемешива- ние + экстракт биогумуса	Плётка + солома + экстракт биогумуса	Солома + экстракт биогумуса
Навоз КРС				
Всего	1263,7±22,7	784,5±13,6	503,3±10,5	672,4±9,7
Жизнеспособных	1171,9±29,2	523,8±9,5	123,7±4,9	243,7±7,2
Конский навоз				
Всего	991,8±7,7	573,4±27,6	235,5±11,5	424,3±22,6
Жизнеспособных	773,7±9,8	252,6±11,6	74,6±4,7	187,7±8,5

При изучении технологического приёма получения субстрата из конского навоза и навоза КРС с добавлением экстракта биогумуса было выявлено, что процесс подготовки позволяет освободить субстрат от жизнеспособных семян сорных растений в среднем на 65%. В процессе биотермической ферментации конского навоза и навоза КРС на открытой площадке количество жизнеспособных семян сорняков снизилось в среднем на 73%. Подготовка субстрата в теплом затемнённом помещении с использованием экстракта биогумуса снизила содержание семян на 61%. Наиболее интенсивно очищение субстрата происходило в летнее время на открытой площадке, где ферментировался навоз под полиэтиленовой плёнкой и соломой на 81%, а в теплых помещениях на 91%, то есть в анаэробных условиях под действием высокой температуры.

Все изучаемые нами технологические приёмы производства субстрата в ложах с использованием экстракта биогумуса, не позволили полностью очистить его от семян сорных растений. Его засорённость на открытой площадке осталась больше, чем в теплом затемнённом помещении.

Производство субстрата на открытой площадке с укрыванием ложи плёнкой и соломой, по сравнению с другими вариантами опытов, наиболее эффективно (в 2,2 раза) снижало количество в нём семян различных видов

сорных растений. А субстрат, укрытый соломой, содержал семян больше на 24%. В субстрате остались семена крапивы жгучей и репейника большого, но среди них существенно преобладали семена крапивы жгучей.

Проведенные опыты по производству субстрата в теплом затемненном помещении с укрыванием ложи пленкой и соломой по сравнению с вариантами перемешивания эффективнее в 3,4 – 4,2 раза, а в варианте с укрыванием соломой в 2,0 – 2,5 раза. В субстрате остались семена репейника большого со следами крапивы жгучей.

При вермикомпостировании на открытой площадке технологический прием с укрытием пленкой и соломой оказал большее влияние на оставшееся содержание семян сорных растений по сравнению с готовым субстратом. Так, количество семян в навозе КРС уменьшилось в 3,5 раза, а в конском навозе в 2,3 раза. В то время как жизнеспособность семян в этих субстратах сократилась в навозе КРС в 33,5 раза, а в конском навозе снизилась в 38,0 раз. В результате биогукус после подготовки содержал очень низкое количество жизнеспособных семян (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Соотношение засоренности семенами сорных растений готового субстрата и биогукуса на открытой площадке, шт/кг

Количество семян сорных растений	Технологические приёмы $\frac{\text{субстрат}}{\text{биогукус}}$, шт./кг			Интенсивность очищения биогукуса по сравнению с субстратом, раз		
	Перемешивание + экстракт биогукуса	Плёнка + солома + экстракт биогукуса	Солома + экстракт биогукуса	Перемешивание + экстракт биогукуса	Плёнка + солома + экстракт биогукуса	Солома + экстракт биогукуса
Навоз КРС						
Всего	$\frac{759,7 \pm 23,2}{374,4 \pm 9,8}$	$\frac{567,9 \pm 19,2}{162,8 \pm 9,6}$	$\frac{617,8 \pm 19,8}{279,7 \pm 9,9}$	2,0	3,5	2,2
Жизнеспособных	$\frac{516,9 \pm 11,7}{154,8 \pm 5,1}$	$\frac{217,5 \pm 15,9}{6,5 \pm 0,4}$	$\frac{283,3 \pm 16,9}{41,5 \pm 2,8}$	3,3	33,5	6,8
Конский навоз						
Всего	$\frac{624,2 \pm 10,6}{328,4 \pm 7,8}$	$\frac{421,3 \pm 14,1}{123,5 \pm 5,1}$	$\frac{477,5 \pm 7,3}{213,7 \pm 8,9}$	1,9	2,3	2,2
Жизнеспособных	$\frac{398,5 \pm 13,3}{119,4 \pm 6,3}$	$\frac{178,9 \pm 15,7}{4,7 \pm 0,2}$	$\frac{223,7 \pm 6,6}{31,9 \pm 3,8}$	3,3	38,0	7,0

При вермикомпостировании в теплом затемненном помещении технологический прием с укрытием пленкой и соломой оказал большее влияние на оставшееся содержание семян сорных растений по сравнению с готовым субстратом. Количество семян сократилось в навозе КРС в 2,9 раза, а в конском навозе в 2,8 раза, а жизнеспособность семян в данном случае снизилась в 9,9 и 11,8 раза соответственно.

В результате биогукус после подготовки содержал совершенно незначительное количество жизнеспособных семян репейника большого (табл. 3.6).

Таким образом, вермикомпостирование готовых субстратов, полученных различными технологическими приёмами из конского навоза и навоза КРС, на открытой площадке и в теплом затемнённом помещении, значительно снижало содержание жизнеспособных семян сорных растений в биогукусе. Почти полного очищения от них удалось достичь при вермикомпостировании субстратов, полученных как на открытой площадке, так и в теплом затемнённом помещении из конского навоза и навоза КРС, ферментируемого в ложах с добавлением экстракта биогукуса и накрытых плёнкой и соломой.

Оценочным критерием эффективности технологических приёмов вермикомпостирования является получение биогукуса. При использовании различных приемов на открытой площадке и в теплом затемненном помещении показатель производства биогукуса варьировал от 420 до 670 кг в расчёте на 1 тонну готового субстрата и в среднем выход копролита во всех вариантах к концу первого поколения составил от 42% до 61%.

Главными экологическими факторами при подготовке субстрата является поддержание оптимальных величин влажности, температуры, газообмена и кислотности. Данные экологические факторы оказывают комплексное действие развитие микрофлоры при ферментации. Поэтому необходимо осуществлять постоянный контроль над состоянием

экологических факторов, своевременно вносить коррективы в технологический процесс.

Таблица 3.6 – Соотношение засоренности семенами сорных растений готового субстрата и биогумуса в теплом затемненном помещении

Количество семян сорных растений	Технологические приёмы $\frac{\text{субстрат}}{\text{биогумус}}$, шт./кг			Интенсивность очищения биогумуса по сравнению с субстратом, раз		
	Перемешивание + экстракт биогумуса	Плётка + солома + экстракт биогумуса	Солома + экстракт биогумуса	Перемешивание + экстракт биогумуса	Плётка + солома + экстракт биогумуса	Солома + экстракт биогумуса
Навоз КРС						
Всего	$\frac{784,5 \pm 13,6}{326,9 \pm 5,5}$	$\frac{503,3 \pm 10,5}{173,6 \pm 9,8}$	$\frac{672,4 \pm 9,7}{292,3 \pm 10,3}$	2,4	2,9	2,3
Жизнеспособных	$\frac{523,8 \pm 9,5}{168,9 \pm 7,1}$	$\frac{123,7 \pm 4,9}{12,5 \pm 0,95}$	$\frac{243,7 \pm 7,2}{65,8 \pm 3,5}$	3,1	9,9	3,7
Конский навоз						
Всего	$\frac{573,4 \pm 27,6}{253,7 \pm 24,4}$	$\frac{235,5 \pm 11,5}{83,6 \pm 2,7}$	$\frac{424,3 \pm 22,6}{189,2 \pm 4,7}$	2,3	2,8	2,2
Жизнеспособных	$\frac{252,6 \pm 11,6}{83,9 \pm 1,4}$	$\frac{74,6 \pm 4,7}{6,3 \pm 0,2}$	$\frac{187,7 \pm 8,5}{51,3 \pm 2,2}$	3,0	11,8	3,7

Подвергая анализу эксперименты, связанные с одним из ведущих факторов – кислотностью среды, было выявлено, что в начале опыта pH субстратов был следующим: навоз КРС – 7,9, конский навоз – 7,5, опад листьев – 7,7, разнотравье – 8,6, газонная трава – 8,4. Весь эксперимент длился в течении 35 суток, и к концу его показатели пришли к нейтральной норме (6,7 – 7,3). Для приведения субстрата к нормативу влажности $75 \pm 3\%$ в целях разведения субстрата для контроля использовали дистиллированную воду, а для опытов 10% экстракт биогумуса.

Наиболее оптимальные параметры среды для компостных червей отмечены в пределах от 6,7 до 7,3. В контрольных вариантах с навозом КРС к 26 дню ферментации кислотность начинала приходить в норму (pH=7,2), а конский навоз переходил к нормальной кислотности после 17 дней. Когда для создания актуальной влажности ($75 \pm 3\%$) использовали водный экстракт

биогумуса, то в субстрате из конского навоза и навоза КРС кислотность нормализовалась после 9 суток ферментации ($pH=7,2$) (табл. 3.7).

Таблица 3.7 – Процесс нормализации pH при подготовке субстратов из конского навоза и навоза КРС

№	Субстраты	Жидкость для разведения	Дни	pH
1	Навоз крупного рогатого скота	Контроль (H_2O)	1	$7,9 \pm 0,4$
			9	$7,7 \pm 0,3$
			17	$7,5 \pm 0,3$
			26	$7,2 \pm 0,3$
			35	$6,9 \pm 0,3$
		10% экстракт биогу́муса	1	$7,9 \pm 0,4$
			9	$7,2 \pm 0,3$
			17	$7,0 \pm 0,3$
			26	$6,9 \pm 0,3$
			35	$6,8 \pm 0,3$
2	Конский навоз	Контроль (H_2O)	1	$7,5 \pm 0,3$
			9	$7,3 \pm 0,3$
			17	$7,2 \pm 0,3$
			26	$7,0 \pm 0,3$
			35	$6,8 \pm 0,3$
		10% экстракт биогу́муса	1	$7,5 \pm 0,3$
			9	$7,1 \pm 0,3$
			17	$7,0 \pm 0,3$
			26	$6,9 \pm 0,3$
			35	$6,9 \pm 0,3$

В экспериментах по нормализации кислотности в городской фитомассе было обнаружено, что в контрольных вариантах с листовым опадом нормализация кислотности происходила медленно и только к 26 дню ферментации начинала приходить в норму ($pH=7,2$). В разнотравье и газонной траве кислотность была повышенная в пределах 8,4 – 8,6 соответственно, и нормализация шла медленнее и приходила в норму к 35 дню испытаний. Когда использовали для создания актуальной влажности городской фитомассы ($75 \pm 3\%$) водный экстракт биогу́муса, то в субстрате из листового опада она нормализовалась к 12 – 15 дню. В разнотравье и газонной траве кислотность нормализовалась после 17 суток ферментации ($pH=7,2$) (табл. 3.8).

Для получения качественного субстрата следует предъявлять ряд определённых требований. Для благополучного разведения культуры дождевых червей *E. fetida* подготовленный субстрат должен иметь следующим показатели: кислотность 6,5 – 7,2, содержание органического вещества 35 до 40%, кислорода не менее 15%, соотношение углерода и азота 20:1 и влажности 75 – 80%.

Таблица 3.8 – Процесс нормализации pH при подготовке субстратов из листового опада, разнотравья и газонной травы

№	Субстраты	Жидкость для разведения	Дни	pH
1	Опад листьев	Контроль (H ₂ O)	1	7,7±0,4
			9	7,6±0,3
			17	7,4±0,3
			26	7,2±0,3
			35	6,9±0,3
		10% экстракт биогумуса	1	7,7±0,4
			9	7,3±0,3
			17	7,1±0,3
			26	6,9±0,3
			35	6,8±0,3
2	Разнотравье	Контроль (H ₂ O)	1	8,6±0,3
			9	8,3±0,3
			17	7,9±0,3
			26	7,5±0,3
			35	7,1±0,3
		10% экстракт биогумуса	1	8,6±0,3
			9	7,8±0,3
			17	7,2±0,3
			26	6,9±0,3
			35	6,9±0,3
3	Газонная трава	Контроль (H ₂ O)	1	8,4±0,3
			9	8,2±0,3
			17	7,8±0,3
			26	7,3±0,3
			35	7,0±0,3
		10% экстракт биогумуса	1	8,4±0,3
			9	7,5±0,3
			17	7,3±0,3
			26	7,1±0,3
			35	6,9±0,3

После подготовки субстрата провели испытание с дождевыми червями. В начале эксперимента в каждый контейнер с готовым субстратом,

заселенным дождевыми червями с плотностью популяции около 500 взрослых молодых червей, закладывался испытуемый субстрат в объеме 300 см³ в 3 повторениях. Через 1 неделю был отмечен небольшой рост численности червей в контрольных вариантах конского навоза и навоза КРС 7 – 9 червей, в вариантах субстрата с экстрактом биогумуса – 12 – 15. В вариантах с листовым опадом как в контрольном, так и с экстрактом биогумуса численность *E. fetida* колебалась от 7 – 10 червей. Испытывая субстраты из разнотравья и газонной травы, было обнаружено, что они также заселены *E. fetida* в контрольных вариантах в пределах 6 – 8, а субстратах с экстрактом биогумуса численность червей возросла до 7 – 9 червей.

Таким образом, вермикомпостирование готовых субстратов, полученных различными технологическими приёмами из сельскохозяйственных отходов и городской фитомассы, сказывается более благоприятно на росте численности червей и быстрой переработке корма. Используя для подготовки субстрата экстракт биогумуса, происходит ускорение в получении готового биогумуса.

3.3 Динамика численности популяций *Eisenia fetida* в субстратах из сельскохозяйственных отходов и фитомассы при вермикомпостировании

Большим количеством отходов можно управлять через большую плотность популяции дождевых червей (Garg, Kaushyk, 2005). Размножение, рост и производительность различных видов дождевых червей в субстратах могут выступать в качестве биомаркеров для измерения эффективности вида дождевых червей в вермикомпостировании (Suthar, 2007). Neuhauser et al. (1980) сообщили о том, что увеличение веса *Eisenia fetida* положительно коррелирует с типом питания. Аналогично, Nath et al. (2009, 2014), также описали субстраты, которые обеспечивают дождевых червей достаточным количеством легко усваиваемого органического вещества, облегчающего рост и размножение.

В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования является изучение роста, репродуктивной биологии, жизненного цикла и изменения плотности популяции компостных червей *E. fetida*. Молодые экземпляры *E. fetida* массой 200 – 250 мг в живом весе случайным образом отбирали из нескольких маточных культур, содержащих по 1000 – 2000 дождевых червей в каждой, предварительно выдерживали в контейнерах с конским навозом и навозом КРС в качестве культурального материала. Для вермикultiвирования использовали пластиковые контейнеры размером 0,6 х 0,4 х 0,3 м, в которые постепенно добавляли кормовой субстрат. Свежие отходы коров и лошадей были собраны на животноводческих фермах, расположенных в окрестностях города Тюмени. Навоз состоял из смеси фекалий и мочи без какого-либо подстилочного материала.

Субстрат для компостных червей – это один из главнейших моментов в вермитехнологии (Лящев, 2013). Субстрат перед использованием на корм червям предварительно готовили. Его измельчали, ферментировали и доводили до исходной влажности при помощи 10% водного экстракта биогумуса. Подготовка субстрата происходит с участием воды, кислорода, температуры, а также под воздействием микроорганизмов и грибов (актиномицетов) (Прок, Лящев, 2018). Органика является основой для субстрата как биологически активное вещество.

Абиотические факторы для разведения данных объектов постоянно контролировали: влажность ($75\pm 5\%$), температуру ($20\pm 3^{\circ}\text{C}$) и аэрацию. Регуляция их проводилась в течении всего эксперимента. Петроченко К. А и др. (2015) отмечают, что черви большую часть кислорода усваивают из воздуха, который постоянно проникает в субстрат.

Способности к адаптации компостных червей определяли по некоторым показателям: по активности и скорости движения червей в субстратах, по их цветовой гамме и активности размножения, а также по количеству особей определенных стадий. Учеты плотности популяций

изучаемых объектов в экспериментах проводили после 2, 4, 9, 15 и 21 недели. Учет численности и плотности популяции на 1 м² состоял из следующих стадий: имаго, ювенильные стадии и коконы. Структуру популяции рассчитывали по соотношению всех стадий развития. Известно, что яйцеклетки в коконах очень чувствительны к температуре и влажности, поэтому их выдерживали в стабильных и оптимальных условиях (20 – 23°C и 77 – 80%) (Лящев, Прок, 2020). Температура и влажность измерялись электронными датчиками в сосудах для инкубации.

В подготовленный навоз КРС и лошадей внедряли по 5000 молодых половозрелых червей *E. fetida* из расчета на 1 м². В течении 2 недель проводили наблюдение за абиотическими факторами, которые поддерживались в оптимальном состоянии. К концу 2 недели было зарегистрировано появление коконов размером 2 – 3 мм. После двухнедельного роста червей и выявления коконов было проведено первое детальное изучение субстратов. В результате проведенных учетов было выявлено, что началась активная откладка коконов как в субстрате из навоза КРС (3072,8±90,9 экз/м²) (табл. 3.9), так и в субстрате из конского навоза (2995,7±103,2 экз/м²) (t=0,54) (табл. 3.10). Таким образом, было выявлено, что к концу 2 недели как в одном субстрате, так и в другом примерно 60% червей отложили по 1 кокону. Для проверки продуктивности коконов, которые были отложены молодыми червями с небольшой биомассой, после 2 недель развития в субстратах из навоза КРС и конского навоза, проведено индивидуальное воспитание коконов. Кокон собирали и помещали в полости микропланшетов в пластиковых чашках, наполненных дистиллированной водой, для наблюдения за количеством отродившихся детенышей. Наблюдения показали, что коконы, полученные на субстрате из навоза КРС, имеют продуктивность 0,9±0,1 детенышей на 1 кокон, а на субстрате из конского навоза 0,85±0,1 детенышей на 1 кокон, т.е. первые

коконы небольшого размера могут содержать в среднем по одной яйцеклетке.

Через 4 недели роста червей их биомасса увеличилась в среднем на 25 – 28%, а также произошло увеличение размеров коконов (3 – 5 мм). В конце 4 недели были вновь проведены учеты численности коконов, а также неполовозрелых стадий развития. При изучении отмечен значительный рост численности коконов в субстрате из навоза КРС ($12976,5 \text{ экз/м}^2$) и появление первых ювенильных стадий ($4235,4 \text{ экз/м}^2$). Во втором эксперименте с субстратом конского навоза численность коконов немного меньше ($12236,6 \text{ экз/м}^2$) ($t=1,27$) (табл. 3.10) почти на 6%, чем в первом эксперименте, а неполовозрелых стадий ($4195,6 \text{ экз/м}^2$) ($t=0,22$) меньше на 1% (табл. 3.10). Кокон, полученные на субстрате из навоза КРС, имеют продуктивность $1,8 \pm 0,2$ детенышей / кокон, а на субстрате из конского навоза $1,6 \pm 0,1$ ($t=0,9$) детенышей / кокон. Большинство коконов небольшого размера могут содержать в среднем по 2 детеныша.

Таблица 3.9 – Динамика численности коконов, ювенильных стадий и взрослых особей *E. fetida* в субстрате из навоза КРС, экз/м²

Субстрат	Недели	Кокон, экз/м ²	Ювенильные стадии, экз/м ²	Взрослые черви, экз/м ²
Навоз крупного рогатого скота	Через 2 недели	$3073,8 \pm 90,9$	-	5000
	Через 4 недели	$12976,5 \pm 429,3$	$4235,4 \pm 124,5$	$4985,3 \pm 7,3$
	Через 9 недель	$15417,4 \pm 534,9$	$92152,4 \pm 3242,2$	$4949,3 \pm 24,6$
	Через 15 недель	$19676,3 \pm 635,2$	$143541,1 \pm 4735,1$	$75814,9 \pm 2510,8$
	Через 21 неделю	$134071,7 \pm 4714,1$	$452467,8 \pm 15908,7$	$224271,9 \pm 7789,2$

К 9 неделе в варианте с субстратом из навоза КРС численность коконов возросла ($15417,4 \text{ экз/м}^2$) более чем на 18% по сравнению с предыдущим учетом. Кокон были в основном средние, размер их колебался в пределах 4 – 5 мм, и в таких коконах отмечено от 4 до 6 яиц. На 5 неделе начали вылупляться неполовозрелые формы и произошло резкое увеличение численности незрелых особей до $92152,4 \text{ экз/м}^2$ (в 21,8 раза). Причём

скорость вылупления ювенильных форм на субстрате из навоза КРС каждую неделю ускорялась (табл. 3.9, рис. 3.1).

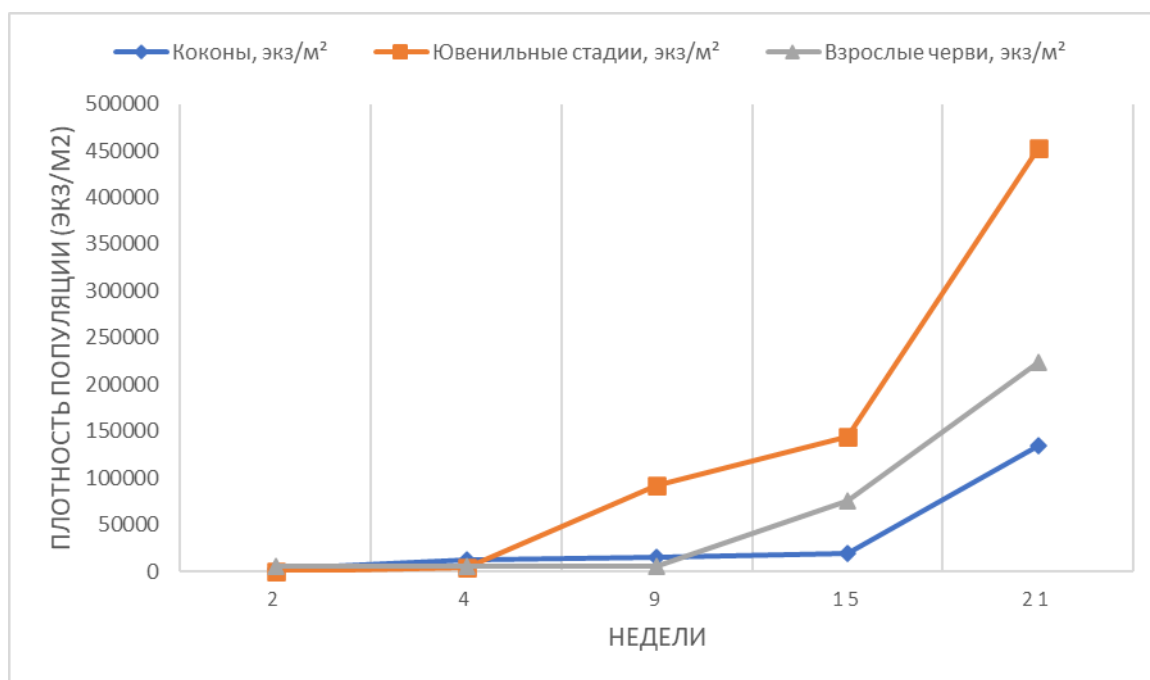


Рис. 3.1 – Динамика численности коконов, ювенильных стадий и взрослых особей *E. fetida* в субстрате из навоза КРС, экз/м²

В тому же это подтверждается тем, что из 1 кокона в среднем вылуплялось 3 – 7 особей ювенильных стадий. Рост численности взрослых червей в данное время не был отмечен.

Таблица 3.10 – Динамика численности коконов, ювенильных стадий и взрослых особей *E. fetida* в конском навозе, экз/м²

Субстрат	Недели	Коконы, экз/м²	Ювенильные стадии, экз/м²	Взрослые черви, экз/м²
Конский навоз	Через 2 недели	2995,7±103,2	-	5000
	Через 4 недели	12236,6±390,2	4195,6±132,7	4979,5±9,8
	Через 9 недель	14875,9±525,7	89917,6±3107,1	4947,2±24,9
	Через 15 недель	19105,3±614,4	140917,5±4776,9	72875,6±2383,9
	Через 21 неделю	131015,9±4476,8	442683,9±15047,0	217978,1±7371,9

В субстрате из конского навоза плотность популяции коконов возросла (14875,9 экз/м²) ($t=0,72$) на 21,6% по сравнению с предыдущим учетом. Коконы в этом субстрате, также были в основном средние, размер их

колебался в пределах от 3 до 6 мм, а в таких коконах, как уже отмечалось, обычно находится от 3 до 6 яйцеклеток.

На 5 неделе начали вылупляться неполовозрелые формы и произошло резкое увеличение численности незрелых особей в 21,6 раза ($89917,6 \text{ экз/м}^2$) ($t=0,4$) (табл. 3.10, рис. 3.2). Скорость вылупления незрелых форм на субстрате из конского навоза с каждой неделей ускорялась. Этим еще раз подтверждается, что из одного кокона в среднем вылупляется 3 – 6 особей ювенильных стадий.

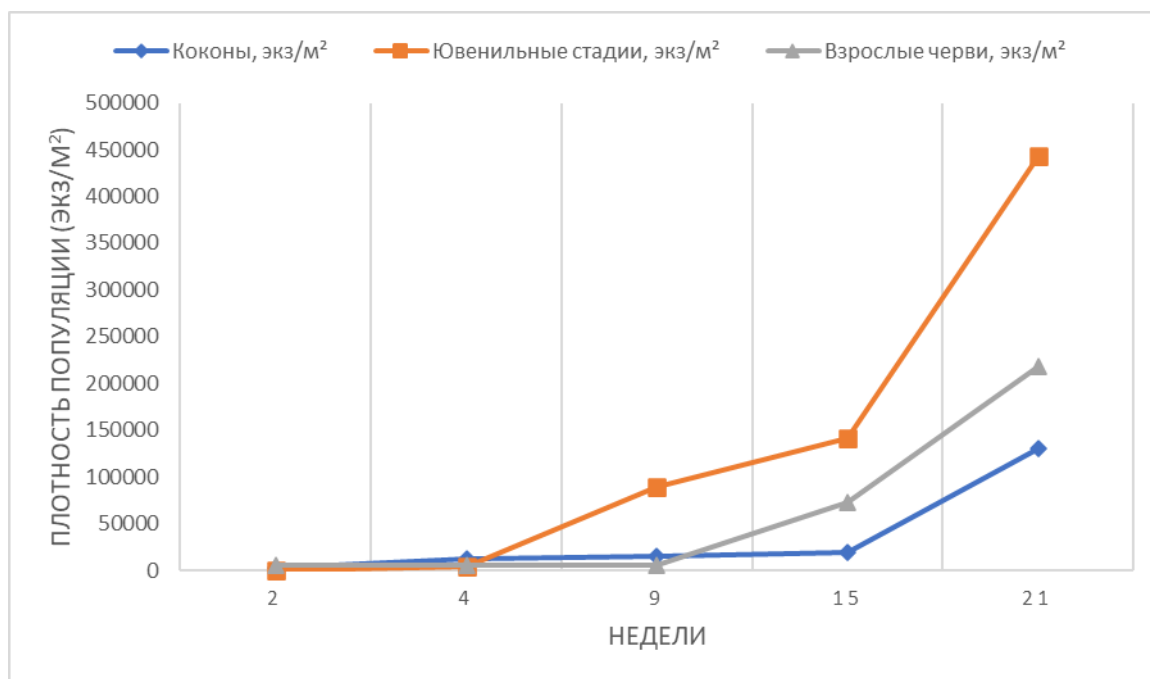


Рис. 3.2 – Динамика численности коконов, ювенильных стадий и взрослых особей *E. fetida* в конском навозе, экз/м²

Анализируя изменение динамических процессов плотности популяции компостных червей через 15 недель на субстрате из конского навоза и навоза КРС, было замечено, что плотность популяции коконов в обоих субстратах ($19676,3$ и $19105,3 \text{ экз/м}^2$ соответственно) ($t=0,7$) через 6 недель увеличилась только на 27,6% и 21,6%, по сравнению с предыдущим периодом роста, т.е. она увеличивалась с 3,8% до 4,6% в неделю. Размеры коконов в субстрате из конского навоза и навоза КРС зарегистрированы в основном средние, в пределах от 5 до 7 мм, и из этих коконов выходило от 4 до 7 детенышей.

Ювенильные черви в данный период появлялись медленнее, чем в предыдущий период развития, т.е. увеличение численности (143541,1 и 140917,5 экз/м² соответственно) ($t=0,4$) произошло только на 55,8% и 63,8%, в то время как численность взрослых червей с 11 недели начала повышаться, и к концу 15 недели их численность (75814,9 экз/м² и 72875,6 экз/м² соответственно) ($t=0,9$) увеличилась в 15,3 и 14,7 раза при сравнении с предыдущим учетом плотности популяции (табл. 3.9, табл. 3.10, рис. 3.1, рис. 3.2). Такое резкое повышение плотности популяции взрослых червей является следствием подъема плотности популяции неполовозрелых стадий, которое наблюдалось 6 недель назад.

При наблюдении за динамическими процессами плотности популяции компостных червей через 21 неделю на субстратах из конского навоза и навоза КРС было отмечено, что плотность популяции коконов на 16 неделе стала резко увеличиваться и к концу 21 недели достигла более 130 тысяч штук на м² ($t=0,5$) (в 6,8 раза). Точно такая же ситуация происходит и в субстрате из конского навоза. Это произошло из-за увеличения плотности популяции взрослых червей, у которых состоялся подъем 6 недель назад. Также было зарегистрировано, что при высокой плотности популяции червей происходит постепенное снижение отложенных коконов на 1 червя (от 1,2 до 1,8 шт.). Коконы в данном субстрате были зафиксированы в основном средних и больших размеров, которые колебались в пределах от 3 до 8 мм, и из этих коконов выходило от 1 до 8 детенышей. Также следует заметить, что произошел резкий подъем численности ювенильных стадий в субстратах из конского навоза и навоза КРС (452467,8 и 442683,9 экз/м² соответственно) ($t=0,45$) в 3,1 раза. При учете взрослых червей было отмечено, что их численность к концу 21 недели резко поднялась в обоих субстратах в 3,0 раза.

Этот эксперимент отличался от экспериментов, описанных большинством других авторов (Kaplan et al, 1980; Tomlin, Miller, 1980; Chan,

Griffiths, 1988; Haimi, 1990; Cluzeau et al, 1992; Dominguez, Edwards, 1997; Dominguez et al, 2000), тем, что в качестве субстратов использовались отдельные виды органических отходов, а не смеси отходов.

Согласно Neuhauser et al. (1980, 1980b) и Jefferies, Audsley (1988), закономерности роста *E. fetida* в отходах животноводства являются логистическими, где рост червей замедляется, когда образцы достигают зрелости. Рост *E. fetida* в 1 и во 2 субстратах данного эксперимента, также следовал логистической схеме роста. Рост дождевых червей в субстратах крупного рогатого скота и лошадей с предварительным компостированием субстратов имел сходные закономерности.

Полученные данные экспериментов по изучению динамических процессов плотности популяции компостных червей в субстрате из конского навоза и навоза КРС указывают, что подъем репродуктивной активности половозрелых червей начинается после 2 недель адаптации к новому субстрату, затем идет процесс стабилизации, и только после 15 недели наступает второй подъем плотности популяции коконов при постоянном кормлении. Зафиксировано, что в начальный период коконы небольших размеров, а концу эксперимента в основном средних и больших размеров, которые колебались в пределах от 2 – 3 до 5 – 8 мм, и соответственно, из этих коконов выходило от 1 до 8 детенышей. Большой размах размеров коконов говорит нам о том, что к взрослым развитым червям присоединились молодые половозрелые черви, которые начинают появляться после 15 недель развития.

Рождение неполовозрелых стадий начинается после 4 недели развития и стабилизируется к 10 неделе. Этот процесс проходит более 7 недель, и он связан с периодом перехода неполовозрелых стадий во взрослые особи. После 16 недели вновь начинается подъем плотности популяции неполовозрелых стадий.

При изучении динамических процессов роста половозрелых особей было замечено, что подъем плотности популяции взрослых особей начинается после 11 недель развития яйцеклеток и неполовозрелых особей. После 4 – 5 недель роста половозрелые особи начинают откладывать коконы. Это также выявлено, исходя из нового подъема плотности популяции коконов.

Таким образом, развитие плотности популяции компостных червей на субстрате из конского навоза и навоза КРС происходит почти одинаково, исходя из соотношения между плотностью популяций отдельных стадий развития. Так, например, на 9 неделе эксперимента отмечено соотношение: коконы: неполовозрелые особи: взрослые особи: 3:18,2:1. К концу эксперимента, т.е. на 21 неделе, соотношение в структуре популяций поменялось следующим образом: 1:3,4:1,6. А это согласуется и с результатами на субстрате из газонной травы, обработанной экстрактом биогумуса (Прок, Лящев, 2018). Все это доказывает, что с постепенным развитием плотности популяции соотношение стадий развития принимает более естественное положение.

Подготовка субстратов для компостных червей является одним из важнейших звеньев в технологическом процессе вермикюльтивирования. Известно, что от характера субстрата, от сочетания составляющих его компонентов и других факторов зависит общее состояние плотности популяций червей, интенсивность размножения и накопления биомассы, свойства, характер и количество копролита.

Подготовленный субстрат имеет для червей большое значение: во-первых, это среда, в которой они обитают и выполняют свои жизненные функции, и во-вторых, это пища, которая обеспечивает всю их жизнедеятельность.

В созревший субстрат из опада листьев заселили 5000 молодых половозрелых червей *E. fetida* из расчета на 1 м². В течении всего периода

культивирования проводили наблюдение за абиотическими факторами, которые поддерживались в оптимальном состоянии. При исследовании к концу 2 недели было зарегистрировано появление коконов, размер которых колебался в пределах 2 – 3 мм. После двухнедельного роста червей и выявления коконов было проведено 1 детальное изучение субстрата. В результате проведенных учетов было выявлено, что началась активная откладка коконов в субстрате из опада листьев ($2708,3 \pm 142,5$ экз/м²) (табл. 3.11, рис. 3.3). Таким образом, к концу второй недели в данном субстрате более 50% червей отложили по одному кокону.

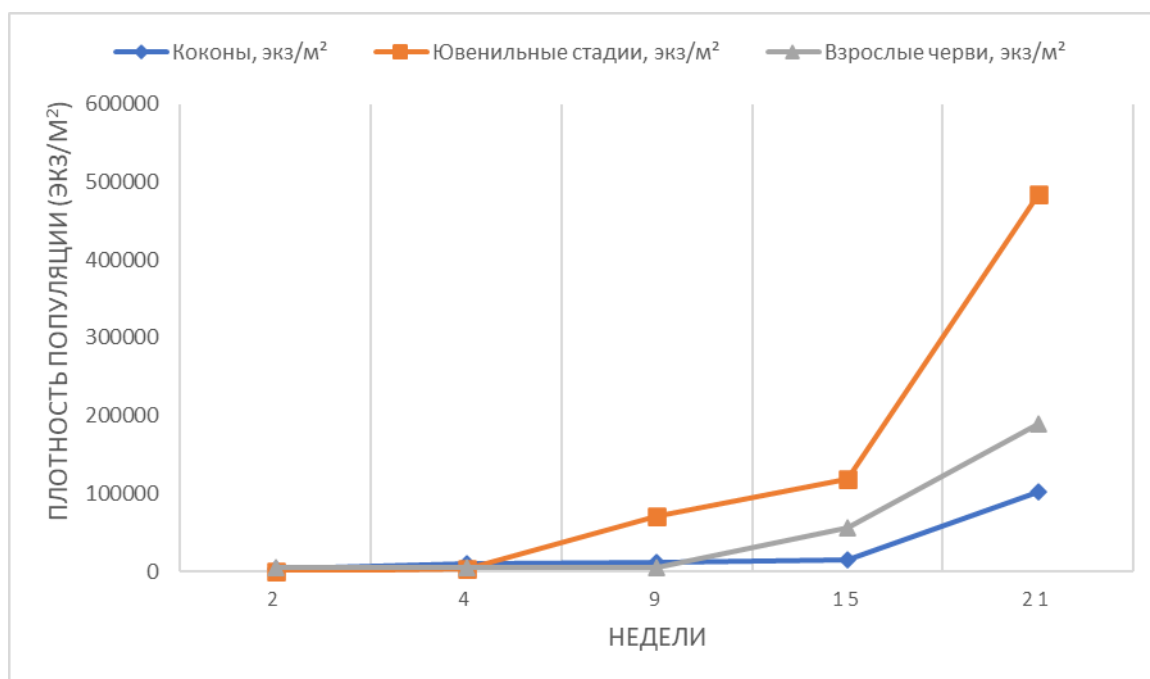


Рис. 3.3 – Динамика численности коконов, ювенильных стадий и взрослых особей *E. fetida* в субстрате из опада листового, экз/м²

Для проверки продуктивности коконов, которые были отложены молодыми червями с небольшой биомассой после 2 недель развития в субстрате из опада листьев, проведено индивидуальное воспитание коконов. Кокон собирали и помещали в полости микропланшетов в пластиковых чашках, наполненных дистиллированной водой, для наблюдения за количеством отродившихся детенышей. Наблюдения показали, что коконы,

полученные на субстрате из опада листьев, имеют продуктивность $0,9 \pm 0,1$ детенышей на 1 кокон, т.е. первые коконы небольшого размера могут содержать в среднем по одной яйцеклетке.

Через 4 недели роста червей их биомасса увеличилась в среднем на 25 – 28%, и в результате произошло увеличение размеров коконов (3 – 4 мм). В конце 4 недели были вновь проведены учеты численности коконов, а также неполовозрелых стадий развития. При изучении отмечен активный рост численности коконов в субстрате из опада листьев ($9799,8 \pm 692,7$ экз/м²) и появление первых ювенильных стадий ($3216,2 \pm 212,8$ экз/м²) (табл. 3.11, рис. 3.3). Кокон, полученные на субстрате из опада листьев, имеют продуктивность $1,4 \pm 0,1$ детенышей / кокон. Большинство коконов небольшого размера могут содержать в среднем по 1 эмбриону и редко по 2. В этот же период времени была зарегистрирована незначительная смертность взрослых червей (около 1%).

Таблица 3.11 – Динамика численности коконов, ювенильных стадий и взрослых особей *E. fetida* в субстрате из опада листового, экз/м²

Субстрат	Недели	Кокон, экз/м ²	Ювенильные стадии, экз/м ²	Взрослые черви, экз/м ²
Опад листовой	Через 2 недели	$2708,3 \pm 142,5$	-	5000
	Через 4 недели	$9799,8 \pm 692,7$	$3216,2 \pm 212,8$	$4959,7 \pm 27,7$
	Через 9 недель	$12273,5 \pm 806,9$	$70597,6 \pm 4971,3$	$4819,8 \pm 56,2$
	Через 15 недель	$15639,9 \pm 1213,5$	$117971,4 \pm 8024,3$	$55562,9 \pm 3907,7$
	Через 21 неделю	$101731 \pm 6392,1$	$483761,1 \pm 32478,3$	$190133,9 \pm 12749,4$

Анализируя дальнейший ход развития данной популяции, было зарегистрировано, что к середине эксперимента в варианте с субстратом из опада листьев численность коконов возросла ($12273,5 \pm 806,9$ экз/м²) более чем на 25% по сравнению с предыдущим учетом. Были зафиксированы в основном средние коконы их размер колебался в пределах 3 – 4 мм, и в данных коконах отмечено от 2 до 5 яйцеклеток. На 5 неделе начали вылупляться неполовозрелые формы, и произошло резкое увеличение численности незрелых особей почти в 22 раза ($70597,6 \pm 4971,3$ экз/м²). Причём скорость вылупления ювенильных форм на субстрате из опада

листьев каждую неделю ускорялась (табл. 3.11, рис. 3.3). К тому же это подтверждается еще тем, что из одного кокона в среднем вылуплялось 3 – 5 особей ювенильных стадий. Рост численности взрослых червей в данное время не был отмечен, но смертность увеличилась до 3,6%.

После проведенного анализа изменения динамических процессов плотности популяции компостных червей через 15 недель на субстрате из опада листьев было обнаружено, что плотность популяции коконов в субстрате ($15639,9 \pm 1213,5$ экз/м²) через 6 недель увеличилась на 27,4% по сравнению с предыдущим периодом роста, т.е. она увеличивалась на 4,5% в неделю. Размеры коконов в данном субстрате зарегистрированы в основном средние, в пределах от 5 до 6 мм, и из этих коконов выходило от 4 до 6 детенышей. Ювенильные стадии червей в данный период появлялись медленнее, чем в предыдущий период развития, т.е. увеличение численности ($117971,4 \pm 8024,3$ экз/м²) произошло на 67%, в то время как численность взрослых червей с 11 недели начала повышаться, и к концу 15 недели их численность ($55562,9 \pm 3907,7$ экз/м²) увеличилась в 11,5 раза при сравнении с предыдущим учетом плотности популяции (табл. 3.11, рис. 3.3). Такое резкое повышение плотности популяции взрослых червей является следствием подъема плотности популяции неполовозрелых стадий, которое наблюдалось 6 недель назад.

При наблюдении за динамическими процессами плотности популяции компостных червей через 21 неделю на субстратах из опада листьев было отмечено, что плотность популяции коконов на 16 неделе стала резко увеличиваться и к концу 21 недели достигло более 100 тысяч экземпляров на м² (в 6,5 раза). Точно такая же ситуация происходила и ранее (табл. 3.11, рис. 3.3). Это произошло из-за увеличения плотности популяции взрослых червей, у которых состоялся подъем плотности популяции 6 недель назад. Также было зарегистрировано, что при высокой плотности популяции червей происходит постепенное снижение отложенных коконов на одного червя (от

1,3 до 1,5 шт.). В данном субстрате были зафиксированы коконы различных размеров, которые колебались в пределах от 2 до 7 мм, и из этих коконов выходило от 1 до 7 детенышей. Также следует заметить, что произошел резкий подъем численности ювенильных стадий в субстратах из опада листьев ($483761,1 \pm 32478,3$ экз/м²) в 4,1 раза. При учете взрослых червей было отмечено, что их численность к концу 21 недели резко поднялась в субстрате в 3,4 раза.

Полученные данные экспериментов по изучению динамических процессов плотности популяции компостных червей в субстрате из опада листьев указывают, что подъем репродуктивной активности половозрелых червей начинается после 2 недель адаптации к новому субстрату, затем идет процесс стабилизации, и только после 15 недель наступает второй подъем плотности популяции коконов при постоянном кормлении. В начальный период зафиксированы коконы небольших размеров, а концу эксперимента в основном средних и небольших размеров, которые колебались в пределах от 2 – 3 до 5 – 7 мм, и соответственно, из этих коконов выходило от 1 до 7 детенышей. Большой размах размеров коконов говорит нам о том, что к взрослым развитым червям присоединились молодые половозрелые черви, которые начинают появляться после 15 недель развития.

Рождение неполовозрелых стадий начинается после 4 недели развития и стабилизируется к 10 неделе. Этот процесс проходит более 7 недель и связан с периодом перехода неполовозрелых стадий во взрослые особи. После 16 недели вновь начинается подъем плотности популяции неполовозрелых стадий.

При изучении динамических процессов роста половозрелых особей было замечено, что подъем плотности популяции взрослых особей начинается после 11 недель развития яйцеклеток и неполовозрелых особей. После 4 – 5 недель роста половозрелые особи начинают откладывать коконы.

Это также выявлено, исходя из нового подъема плотности популяции коконов.

Таким образом, развитие плотности популяции компостных червей на субстрате из опада листьев происходит почти одинаково, исходя из соотношения между плотностью популяций отдельных стадий развития. Так, например, на 9 неделе эксперимента отмечено соотношение: коконы: неполовозрелые особи: взрослые особи: 2,5:14,6:1. К концу эксперимента, т.е. на 21 неделе, соотношение в структуре популяций поменялось следующим образом: 1:4,7:1,8. А это согласуется с результатами на субстрате из газонной травы, обработанной экстрактом биогумуса (Прок, Лящев, 2018). Все это доказывает, что с постепенным развитием плотности популяции соотношение стадий развития принимает более естественное положение.

Эффективность вермитехнологии на некоторых субстратах в условиях Тюменской области изучена достаточно хорошо. В нашем регионе есть ряд попыток наладить размножение дождевых компостных червей, производство их биомассы и копролитов (Лящев, 2013). Однако с каждым годом все острее назревает необходимость в разработке научно обоснованных рекомендаций по утилизации городских органических остатков через использование вермитехнологии (Лящев, 2013).

В экспериментах по изучению эффективности переработки субстратов из газонной травы и разнотравья использовали дождевого компостного червя *E. fetida* (*Lumbricidae*). Для вермикультивирования использовали пластиковые ящики объемом 0,24 м², которые постепенно наполняли субстратом.

Перед закладкой опытов была проведена подготовка субстрата. Газонную траву и разнотравье закладывали на ферментацию в измельченном виде. Для ускорения ферментации использовали экстракт биогумуса. Измельченная газонная трава приходила в состояние готового субстрата через 9 – 12 дней. Измельченное разнотравье превращалось в готовый

субстрат через 3 недели. В результате закладывали два опыта с измельченной газонной травой и разнотравьем на вермикомпостирование в 4-х повторениях длительностью более 5 месяцев.

В субстрат из газонной травы и разнотравья заселили 5000 молодых половозрелых червей *E. fetida* из расчета на 1 м². Весь период вермикультивирования проводили наблюдения за абиотическими факторами, которые поддерживались в оптимальном состоянии. При изучении субстрата в конце 2 недели было зафиксировано появление коконов, размер которых колебался в пределах 2 – 3 мм. После выявления коконов и двухнедельного роста червей возникла необходимость проведения одного детального изучения субстрата. В результате проведенных исследований было выявлено, что *E. fetida* начала активно откладывать коконы в субстрате из газонной травы и разнотравья ($2481,7 \pm 167,9$ экз/м² и $2015,3 \pm 65,5$ экз/м² соответственно) (табл. 3.12, табл. 3.13, рис. 3.4, рис. 3.5). Из этого следует, что к концу 2 недели в данных субстратах от 40% до 50% червей начали откладывать по 1 кокону. Наблюдения показали, что коконы, полученные на субстрате из газонной травы и разнотравья, имеют продуктивность $0,8 \pm 0,1$ и $0,75 \pm 0,1$ детенышей на 1 кокон соответственно, т.е. первые коконы небольшого размера могут содержать в среднем по 1 яйцеклетке.

Рассматривая динамические процессы роста *E. fetida*, через 4 недели после запуска эксперимента было выявлено, что их биомасса начинает постепенно увеличиваться в среднем на 22 – 25%. Это напрямую оказывает влияние на увеличение и размеры коконов (3 – 4 мм). В данный период вновь был проведен подсчет численности коконов, а также численность неполовозрелых стадий развития.

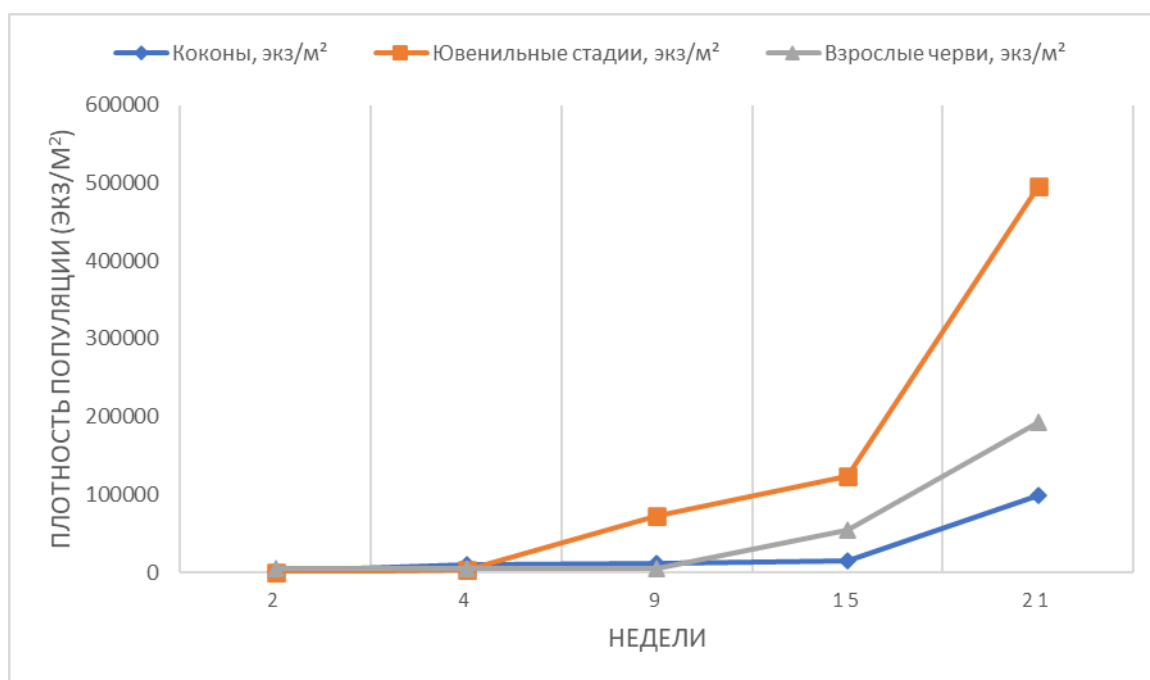


Рис. 3.4 – Динамика численности коконов, ювенильных стадий и взрослых особей *E. fetida* в субстрате из газонной травы, экз/м²

При изучении субстратов отмечен активный рост численности коконов в субстрате из газонной травы и разнотравья ($9716,3 \pm 635,4$ и $9063,5 \pm 300,7$ экз/м² соответственно), а также отмечено появление первых ювенильных стадий ($3365,9 \pm 221,4$ и $3067,1 \pm 95,3$ экз/м² соответственно) (табл. 3.12, табл. 3.13, рис. 3.4, рис. 3.5). Коконы, полученные на субстратах из газонной травы и разнотравья, имеют продуктивность $1,2 - 1,4 \pm 0,1$ детенышей/кокон. Большинство коконов небольшого размера могут содержать в среднем по 1 яйцеклетке и редко по 2. В этот же период времени была зарегистрирована незначительная смертность взрослых червей (2,7% и 1,1% соответственно).

Анализ дальнейшего развития плотности популяции дождевого червя *E. fetida* показал, что к 10 неделе эксперимента в вариантах с субстратами из газонной травы и разнотравья численность коконов возросла ($12015,7 \pm 823,3$ и $11914,1 \pm 430,3$ экз/м² соответственно) более чем на 24% и 31% соответственно по сравнению с предыдущими исследованиями. Были зафиксированы в основном средние коконы, размер их колебался в пределах 3 – 4 мм, и в данных коконах отмечено от 2 до 4 яйцеклеток.

Таблица 3.12 – Динамика численности коконов, ювенильных стадий и взрослых особей *E. fetida* в субстрате из газонной травы, экз/м²

Субстрат	Недели	Коконы, экз/м ²	Ювенильные стадии, экз/м ²	Взрослые черви, экз/м ²
Газонная трава	Через 2 недели	2481,7±167,9	-	4942,6±22,1
	Через 4 недели	9716,3±635,4	3365,9±221,4	4869,3±74,8
	Через 9 недель	12015,7±823,3	71847,6±4969,8	4677,9±123,7
	Через 15 недель	14675,8±1002,2	123636,8±8422,5	55016,2±3770,9
	Через 21 неделю	98847,9±6699,8	496135,6±33158,3	193135,7±12978,9

Рост и развитие плотности популяции в течении 5 недель показали, что интенсивность вылупления неполовозрелых форм была более резкая, увеличивая численность ювенильных стадий почти в 22 раза (71847,6±4969,8 экз/м², 69895,7±2290,9 экз/м² соответственно). Причём скорость вылупления ювенильных форм на субстратах из газонной травы и разнотравья каждую неделю ускорялись. К тому же это подтверждается еще

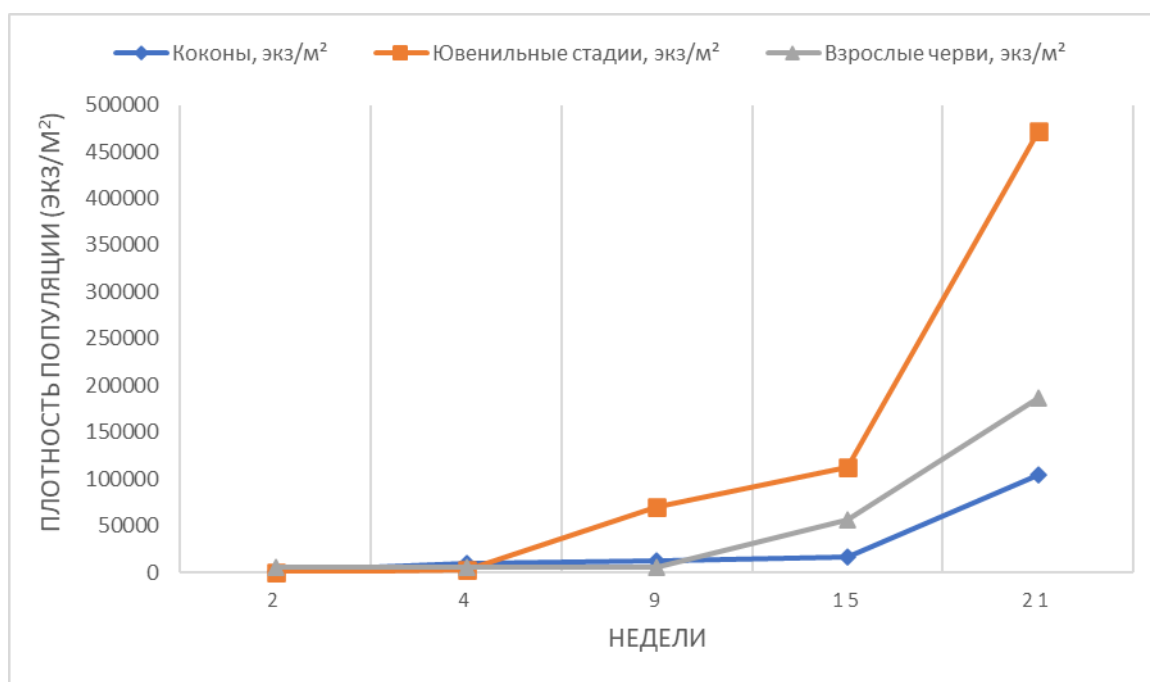


Рис. 3.5 – Динамика численности коконов, ювенильных стадий и взрослых особей *E. fetida* в субстрате из разнотравья, экз/м²

тем, что из одного кокона в среднем вылуплялось 3 – 5 особей ювенильных стадий. Рост численности взрослых червей в данное время не был отмечен, но на субстрате из газонной травы смертность увеличилась до 6,5%, а на субстрате из разнотравья до 1,6%.

Таблица 3.13 – Динамика численности коконов, ювенильных стадий и взрослых особей *E. fetida* в субстрате из разнотравья, экз/м²

Субстрат	Недели	Коконы, экз/м ²	Ювенильные стадии, экз/м ²	Взрослые черви, экз/м ²
Разнотравье	Через 2 недели	2015,3±65,5	-	4967,8±17,6
	Через 4 недели	9063,5±300,7	3067,1±95,3	4949,1±37,3
	Через 9 недель	11914,1±430,3	69895,7±2290,9	4918,9±53,4
	Через 15 недель	15965,2±611,8	112306,2±4518,1	56134,8±2239,2
	Через 21 неделю	103981,8±4245,9	471587,4±20046,3	187132,5±6971,9

После проведенного анализа изменения динамических процессов плотности популяции компостных червей через 15 недель на субстрате из газонной травы и разнотравья было обнаружено, что плотность популяции коконов в субстратах (14675,8±1002,2 и 15965,2±611,8 экз/м² соответственно) через 6 недель на субстрате из газонной травы увеличилась на 22%, а на субстрате из разнотравья на 34% по сравнению с предыдущим периодом роста, т.е. она увеличивалась в неделю на 3,7% и 5,7% соответственно. В данных субстратах зарегистрированы в основном средние размеры коконов в пределах от 5 до 6 мм, и из этих коконов выходило от 4 до 5 личинок. Ювенильные стадии червей в данный период появлялись медленнее, чем в предыдущий период развития, т.е. увеличение численности (123636,8±8422,5 экз/м²) произошло на 61% на субстрате из газонной травы и на 72% на субстрате из разнотравья, в то время как численность взрослых червей с 11 недели начала повышаться, и к концу 15 недели их численность как на субстрате из газонной травы, так и на субстрате из разнотравья (55016,2±3770,9 и 56134,8±2239,2 экз/м² соответственно) увеличилась более чем в 11 раз по сравнению с предыдущим учетом плотности популяции (табл. 3.12 и 3.13, рис. 3.4, рис. 3.5). Такое резкое повышение плотности популяции взрослых червей является следствием подъема плотности популяции неполовозрелых стадий, которое наблюдалось 6 недель назад.

При изучении динамических процессов плотности популяции компостных червей через 21 неделю на субстратах из газонной травы и разнотравья было зарегистрировано, что плотность популяции коконов на 16

неделе стала резко подниматься и к концу 21 недели достигла на субстрате из газонной травы $98847,9 \pm 6699,8$ экз/м², а на субстрате из разнотравья $103981,8 \pm 4245,9$ экз/м², т.е. в первом случае она увеличилась в 6,7 раза, а во втором в 6,5 раза. Точно такая же ситуация происходила и ранее на фитомассе опавших листьев. Это произошло из-за увеличения плотности популяции взрослых червей, у которых состоялся подъем плотности популяции 6 недель назад. Также было зарегистрировано, что при высокой плотности популяции червей происходит постепенное снижение отложенных коконов на одного червя (от 1,5 до 1,2 шт.). В данном субстрате были зафиксированы коконы различных размеров, которые колебались в пределах от 2 до 7 мм, и из этих коконов выходило от 1 до 6 личинок. Кроме того, из этого следует, что произошел резкий подъем численности ювенильных стадий в субстратах ($496135,6 \pm 33158,3$ экз/м² и $471587,4 \pm 20046,3$ экз/м² соответственно) более чем в 4 раза. При учете взрослых червей было отмечено, что их численность к концу 21 недели резко поднялась в субстратах более чем в 3,3 раза (табл. 3.12, табл. 3.13, рис. 3.4, рис. 3.5).

Таким образом, развитие плотности популяций компостных червей на субстратах из газонной травы и разнотравья происходит почти одинаково, исходя из соотношения между плотностью популяций отдельных стадий развития. Так, например, на 9 неделе эксперимента отмечено соотношение: коконы: неполовозрелые особи: взрослые особи: на субстрате из газонной травы 2,6:15,3:1 и на субстрате из разнотравья 2,4:14,2:1. К концу эксперимента на 21 неделе соотношение в структуре популяции поменяется следующим образом: 1:5:2 и 1:4,5:1,8 соответственно. А эти показатели согласуются с результатами на субстрате из опада листьев, обработанного экстрактом биогумуса. Все это доказывает, что с постепенным развитием плотности популяции соотношение стадий развития принимает более стабильное и естественное положение.

Полученные данные экспериментов по изучению динамических процессов плотности популяции компостных червей в субстрате из городской фитомассы показывают, что подъем репродуктивной активности половозрелых червей начинается после 2 недель адаптации к новому субстрату, затем идет процесс стабилизации, и только после 15 недели наступает второй подъем плотности популяции коконов при постоянном кормлении. В начальный период зафиксированы коконы небольших размеров, а концу эксперимента небольших и средних размеров, которые колебались в пределах от 2 – 3 до 5 – 6 мм, и соответственно, из этих коконов выходило от 1 до 7 личинок. Следует заметить, что при большом подъеме численности ювенильных и взрослых стадий, где-то на 19 – 20 неделе начинают преобладать более мелкие коконы и взрослые черви. Вероятно, это является показателем превышения плотности популяции на объем субстрата и увеличение смертности взрослых червей, которых заселяли в начале эксперимента. Большой размах размеров коконов говорит нам о том, что к взрослым развитым червям с большой биомассой начинают активно присоединяться молодые половозрелые черви. Они начинают появляться после 15 недели развития, а их биомасса была незначительна и колебалась в пределах 170 – 230 мг.

Более активное появление ювенильных стадий начинается после 4-х недель развития и стабилизируется к 9 неделе. Этот процесс проходит более 7 недель и связан с периодом перехода неполовозрелых стадий во взрослую. Затем вновь начинается резкий подъем плотности популяции ювенильных стадий, и на 20 – 21 неделе она достигает максимума, а затем начинает постепенно падать, так как идет переход во взрослые стадии и стабилизация популяционных процессов.

При анализе динамических процессов роста половозрелых особей зарегистрировано, что подъем плотности популяции взрослых стадий начинается после 11 недель развития яйцеклеток и ювенильных стадий.

После 4 – 5 недель развития и роста половозрелые особи начинают откладывать небольшие коконы. При подъеме плотности популяции червей и ограниченной площади субстрата, а также при накоплении большого количества готового биогумуса идет стабилизация подъема плотности популяции, а при превышении её может начаться спад численности личинок в коконах из-за падения биомассы взрослых половозрелых червей.

Таким образом, отмечается, что развитие плотности популяции компостных червей на субстрате из газонной травы и разнотравья происходит почти одинаково, исходя из соотношения между плотностью популяций отдельных стадий развития. Так, например, на 9 неделе эксперимента отмечено соотношение: коконы: неполовозрелые особи: взрослые особи: 2,6:15,3:1 и 2,4:14,2:1 соответственно. К концу эксперимента, т.е. на 21 неделе, соотношение в структуре популяций поменялось следующим образом: 1:5:2 и 1:4,5:1,8 соответственно. А это согласуется также и с результатами на субстратах из опада листьев, обработанных экстрактом биогумуса. Все это доказывает, что с постепенным развитием плотности популяции соотношение стадий развития принимает более естественное положение.

3.4 Потенциал биогумуса при утилизации фитомассы растений

В настоящее время перечислены причины, по которым биогумусообразование является наилучшим вариантом утилизации биоразлагаемых твердых отходов, особенно фитомассы.

Эксперименты проводились в червячных контейнерах размером 0,6м х 0,4м х 0,3м (длина х ширина х глубина). Это обеспечило 0,24 м² открытой верхней поверхности. Каждая начальная численность дождевых червей (*Eisenia fetida*) была введена в контейнер, чтобы обеспечить желаемую плотность популяции. Для достижения трех желаемых плотностей популяции нагрузка живой биомассы дождевых червей составляла 0,22 (900 шт.), 0,36 (1500 шт.) и 0,5 (2100 шт.) кг соответственно. Исследования

проводились в 3 повторениях для каждой из 3 плотностей популяции. Каждой из 3 повторений для избранной плотности популяции скармливали ежедневно определенное количество корма: 135, 220 и 310 грамм соответственно из расчета на данную площадь.

Опавшие листья, разнотравье и газонные травы использовали в сушеном и порошкообразном виде. Измеренное количество отходов замачивали в 10% экстракте биогумуса в течение 36 часов и не смешивали с коровьим навозом. Готовые субстраты подавали в опытные контейнеры, а затем в них были запущены случайно выбранные молодые взрослые особи массой 200 – 250 мг/червь выбранного вида дождевого червя (*Eisenia fetida*). Содержание влаги в корме поддерживалось на уровне $70 \pm 5\%$. Перемешивание или аэрация не производились, да и не требовались, поскольку контейнеры имеют большую площадь поверхности и малую глубину. Благодаря этому перемешивание субстрата, вызванное движением дождевых червей, является достаточным для поддержания аэробных условий, сохраняя при этом корм достаточно хорошо перемешанным. После каждого 14-ти дневного периода работы опытного контейнера содержимое разделяли по степени превращения субстрата в вермикомпост, изменения зоомассы взрослых дождевых червей и плодовитости.

Результаты, охватывающие около 5 месяцев эксплуатации опытных контейнеров в режиме импульсной подачи корма из опавших листьев, разнотравья и газонной травы с 7-ми дневным интервалом, обобщены в таблицах. Повторения согласованы с точностью до $\pm 7\%$, что можно считать достаточно точным, учитывая неоднородный характер питания в опытных контейнерах. В первые 14 дней работы дождевых червей эффективность переработки субстрата была низкой. Затем этот показатель начал последовательно увеличиваться в течение 16 недель экспериментального периода, но к 20 неделе эффективность переработки начала постепенно понижаться.

Исследования плотности популяции дождевых червей показало, что она зависит от уровня корма, который находится в пределах от 1,0 до 1,4 (кг корма/кг дождевого червя в день), а также она в большей степени оказывает влияние на рост и размножение *E. fetida*, чем на биогумусообразование опавших листьев. Изучая влияние плотности популяции на рост и размножение *E. fetida*, было установлено, что рост численности снижается с увеличением плотности популяции, в то время как производство биогумуса повышается. Используя этот же подход, потенциальная плотность популяции *E. fetida* была оценена приблизительно 1,0 кг червей на м² для субстратов из опавших листьев, разнотравья и газонной травы. Хотя при плотности популяции 1,5 кг червей на м² биомасса червей росла при всех уровнях кормления, но к тому же при понижении плотности популяции биомасса червей *E. fetida* падала, особенно при низком уровне кормления, а при высокой плотности популяции и особенно при низком уровне кормления биомасса червей упала более чем на 50%.

С точки зрения производства коконов и ювенильных особей в субстрате из опавших листьев у *E. fetida* самая высокая плодовитость при начальной плотности популяции 1,5 кг червей на м² и уровне корма 1,4 кг (кг корма/кг дождевого червя в день), т.е. она поднялась более чем в 3 раза.

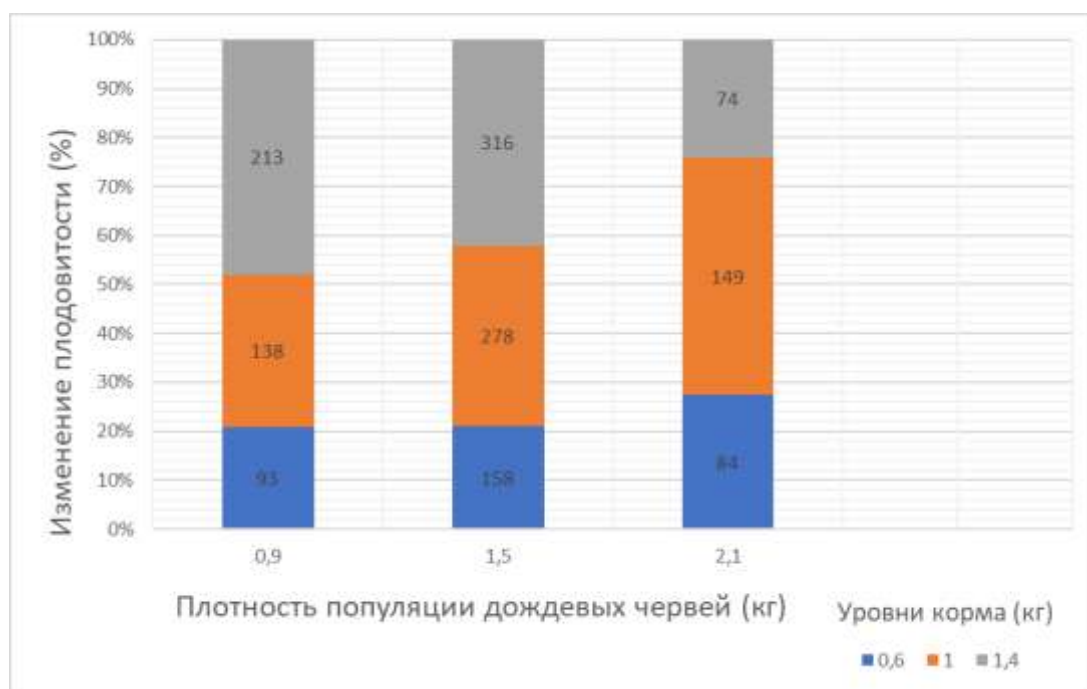


Рис. 3.6 – Изменение плодовитости (%) дождевого червя на субстрате из опада листьев в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

В тоже время в других субстратах было отмечено, что в субстрате из разнотравья она уменьшается в среднем на 15 – 25%, а в субстрате из газонной травы по сравнению с листовым субстратом она падает на 25 – 60% (табл. 3.14, табл. 3.15, табл. 3.16, рис. 3.6, рис. 3.7).

Анализируя более детально плодовитость дождевых червей *E. fetida*, следует заметить, что при первоначальной плотности популяции 0,9 кг червей на м² и уровне кормления 0,6 кг на субстрате из листового опада через 10 недель произошло увеличение коконов и ювенильных стадий на 93%. В тоже время на субстрате из разнотравья она увеличилась на 73%, а на субстрате из газонной травы только на 53%. Увеличивая уровень кормления до 1,0 кг корма, происходит резкое изменение плодовитости популяции: на субстрате из листьев она возрастает до 138%, на субстрате из разнотравья до 118% и на субстрате из газонной травы до 98%. При увеличении уровня корма до 1,4 кг плодовитость продолжает возрастать. Так, на субстрате из листового опада она возросла до 213%, на субстрате из разнотравья до 194%

и на субстрате из газонной травы до 128%. Таким образом, даже при низкой плотности популяции, но при высоком уровне кормления плотность популяции *E. fetida* может повышаться более чем в 2 раза на субстрате из листьев опада, в 1,9 раза на субстрате из разнотравья и только в 1,2 раза на субстрате из газонной травы (табл. 3.14, табл. 3.15, табл. 3.16, рис. 3.6, рис. 3.7).

Подвергая анализу плодовитость дождевых червей *E. fetida* при начальной плотности популяции 1,5 кг червей на м² и уровне корма 0,6 кг на субстрате из опада листьев через 10 недель было отмечено, что плодовитость возрастает почти на 158%, в то время как на субстрате из разнотравья она составила 135%, а на субстрате из газонной травы – 105%.

Увеличивая уровень кормления до 1,0 кг, было обнаружено, что происходит резкое увеличение плодовитости на субстрате из опада листьев до 278%, в то время как на субстрате из разнотравья она ниже на 20% и составила 257%, а на субстрате из газонной травы плодовитость возросла в 2 раза.

Таблица 3.14 – Изменение плодовитости (%) дождевого червя на субстрате из опада листьев в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Начальная плотность популяции дождевых червей (кг-червей/м ²)	Уровни корма (кг корма/кг дождевого червя в день)		
	0,6	1,0	1,4
0,9	93,3±8,3	137,6±7,5	213,3±13,3
1,5	157,8±10,1	278,1±11,9	315,7±21,8
2,1	83,7±6,8	148,5±8,1	73,9±8,7
F> 825,9 НСР _{0,5} > 14,6			

При увеличении уровня корма до 1,4 кг плодовитость продолжила свой подъем на субстрате из опада листьев до 316%, на субстрате из разнотравья до 301% и на субстрате из газонной травы до 285%. В итоге было зафиксировано, что при начальной плотности популяции в 1,5 кг червей на м²

плодовитость *E. fetida* самая высокая даже на субстрате из газонной травы и может подниматься почти в 3 раза, но все-таки она ниже на 30%, чем на субстрате из листового опада (табл. 3.14, табл. 3.15, табл. 3.16, рис. 3.6, рис. 3.7).

Таблица 3.15 – Изменение плодовитости (%) дождевого червя на субстрате из разнотравья в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Начальная плотность популяции дождевых червей (кг-червей/м ²)	Уровни корма (кг корма/кг дождевого червя в день)		
	0,6	1,0	1,4
0,9	73,3±3,7	117,8±3,2	193,7±8,3
1,5	134,7±4,5	256,7±12	301,4±10,4
2,1	65,9±4,6	127,5±3,6	58,7±5,8
F> 46,9			HCP _{0,5} > 8,8

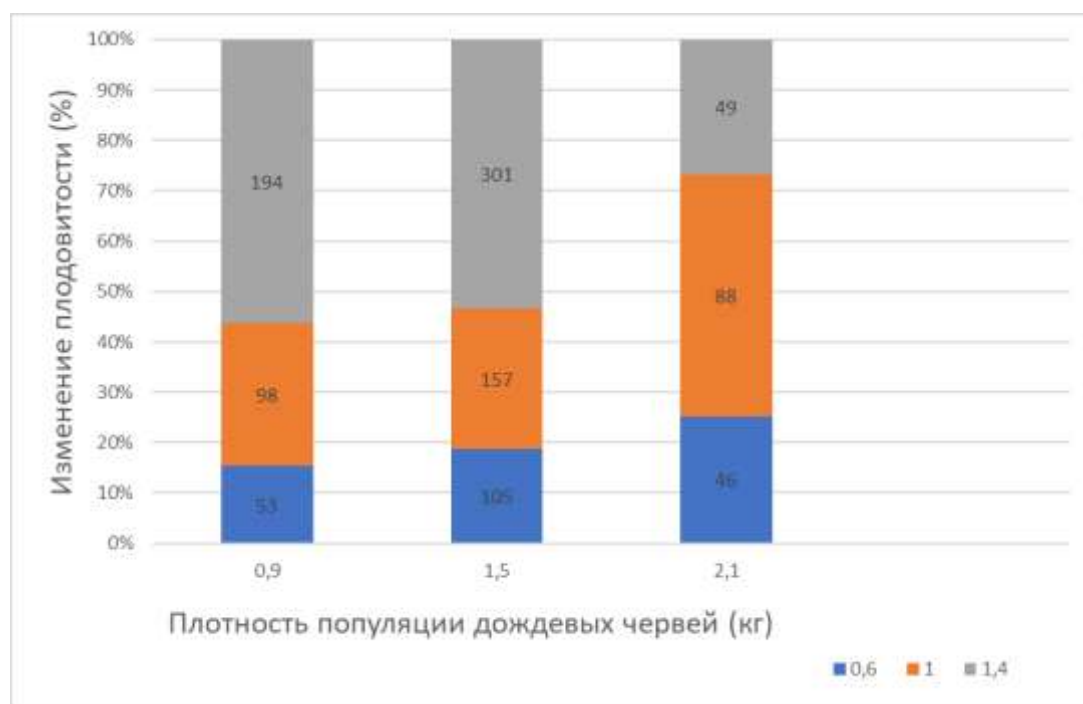


Рис. 3.7 – Изменение плодовитости (%) дождевого червя на субстрате из газонной травы в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Изучая особенности влияния максимальной начальной плотности популяции 2,1 кг червей на м² и уровне кормления 0,6 кг, было отмечено, что

через 10 недель на субстрате из опада листьев максимально плодовитость может возрасть в пределах 84%, а на субстрате из разнотравья на 66% и на субстрате из газонной травы на 46%. При увеличении уровня кормления до 1,0 кг на 1 кг червей на м² было замечено, что плодовитость на субстрате из опада листьев намного возрастает (на 65%) по сравнению с уровнем кормления 0,6 кг корма и составляет 149%, в то время как на субстрате из разнотравья она была ниже на 21%, а на субстрате из газонной травы плодовитость была ниже уже на 61%. Увеличивая уровень корма до 1,4 кг, было отмечено, что плодовитость резко понижается почти на 75% даже на субстрате из листового опада по сравнению с уровнем кормления в 1,0 кг корма и находится в пределах 88%. На других субстратах она понижается в пределах 10 – 15%. Из этого следует, что при высокой плотности популяции и высоком уровне кормления плодовитость популяции понижается более чем в 4 раза по сравнению с начальной плотностью популяции в 1,5 кг червей на м² (табл. 3.14, табл. 3.15, табл. 3.16, рис. 3.6, рис. 3.7).

Таблица 3.16 – Изменение плодовитости (%) дождевого червя на субстрате из газонной травы в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Начальная плотность популяции дождевых червей (кг-червей/м ²)	Уровни корма (кг корма/кг дождевого червя в день)		
	0,6	1,0	1,4
0,9	53,3±4,1	97,8±3,2	193,7±12,6
1,5	104,7±5,2	203,7±5,7	284,6±10,9
2,1	45,9±4,3	87,5±2,3	48,7±3,9
F> 1207,3 НСР _{0,5} > 6,7			

Исходя из рассматриваемых результатов о влиянии различных субстратов на плодовитость, можно сделать вывод, что биогумус из фитомассы субстратов оказывает более благоприятное влияние при средней начальной плотности популяции (1,5 кг) и всех уровнях кормления на рост и размножение популяции дождевых червей *E. fetida*, где плодовитость может

увеличиваться более чем в 3 раза. К тому же биогумус из газонной травы дает возможность повысить плодovitость при самом низком и самом высоком уровне кормления не более чем на 50%, т.е. фитомасса газонной травы оказывает менее благоприятное влияние на плодovitость червей, чем лиcтовой опад и разнотравье.

Анализируя процесс переработки субстрата при самой низкой плотности популяции на всех уровнях кормления субстратом из опада лиcтьев, следует заметить, что происходит постепенное нарастание выработки биогумуса как в первом, так и во втором поколениях. Исключением является только третье поколение, так как в конце его начинается уменьшение выработки, а также стабилизация самого процесса (табл. 3.17).

Эти результаты также указывают на то, что при более длительной эксплуатации вермикультиваторов, из которых не были удалены молодые особи и коконы, продолжает наращиваться эффективность переработки субстратов, потому что в контейнерах происходит увеличение плотности популяции червей и, соответственно, увеличение потребления корма, чем в контейнерах, где остаются только взрослые черви первоначального поселения.

Таблица 3.17 – Производство биогумуса из опада лиcтьев в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма, %

Дни	Уровни корма (кг корма/кг дождевого червя в день)		
	0,6	1,0	1,4
14	21,3±1,9	31,1±2,5	35,9±2,6
28	29,2±2,8	39,3±2,8	42,3±3,1
56	34,5±2,3	47,4±2,9	45,1±2,6
70	39,9±3,1	51,1±2,1	47,3±3,8
84	45,1±2,3	64,9±3,1	44,5±2,4
112	49,6±4,9	69,3±3,6	39,7±2,4
140	46,2±3,8	65,1±3,6	37,3±3,4
Средняя	39,3±2,2	53,1±2,8	41,9±2,9

Показатели второго и третьего поколений *E. fetida*, родившихся и выращенных в вермикомпостирующих контейнерах, питаемых фитомассой,

по сравнению с показателями первого поколения, выращенных первоначально на навозе КРС и в вермикомпостирующей фитомассе листвы, приведены в таблице 3.17. Наблюдается качественный скачок в средней скорости производства вермикомпоста вторым поколением *E. fetida* по сравнению с первым порядка 25 – 30%. Третье поколение имеет более высокую (на 5 – 15%) эффективность биогумуса, которая не так сильно отличается от второго поколения, как второе поколение от первого. Также было отмечено, что первому поколению потребовалось время, чтобы акклиматизироваться к корму из фитомассы листвы, разнотравья и газонной травы, что нашло отражение в незначительном потреблении корма в первые 20 дней. Дождевые черви второго и третьего поколений не нуждались в какой-либо подкормке и с самого начала начали производить почти средний процент биогумуса. Третье поколение *E. fetida* произвело большее количество коконов и ювенильных стадий, чем второе поколение, и второе поколение сделало это лучше, чем первое поколение.

Эти результаты показывают, что последующие поколения *E. fetida* можно выращивать с использованием фитомассы листвы в качестве единственного корма. Черви, выращенные на фитомассе листвы, разнотравья и газонной травы, так же хорошо растут, здоровы и репродуктивны, как и те, которые были выращены на навозе. Второе и третье поколения все больше акклиматизируются к фитомассе листвы, разнотравья и газонной травы и демонстрируют все большую эффективность в биогумусообразовании. Репродуктивная способность *E. fetida* в контейнерах, питаемых фитомассой, возрастает по мере того, как она производит в нем свое второе и третье поколение.

После 3,5 месяцев некоторые из молодых особей начали достигать зрелости. Это проявлялось в виде появления у них хорошо сформированного пояса. По мере увеличения числа взрослых особей с конца 4 месяца и далее наблюдался резкий рост эффективности вермиконверсии. Он сохранялся на

этом уровне до завершения эксперимента через 5 месяцев после его начала. В целом выход вермикомпоста линейно увеличивался с течением времени (табл. 3.17).

Несмотря на то, что производство биогумуса первым поколением *E. fetida* имеет явно повышающийся тренд, отражающий растущую адаптацию к корму дождевых червей, которые были выращены на навозе КРС, тренд, относящийся ко второму поколению, имеет лишь незначительный подъем. В то время как тренд, относящийся к третьему поколению, еще более плоский. Эти закономерности указывают на то, что эффективность биогумуса почти достигла своего пика к третьему поколению, и следующие поколения будут работать аналогично третьему поколению.

Рассматривая более подробно производство биогумуса дождевыми червями *E. fetida*, следует отметить, что при первоначальной плотности популяции 0,9 кг червей на м² и уровне кормления 0,6 кг на субстрате из листового опада через 10 недель происходит образование биогумуса в пределах 40%, на субстрате из разнотравья – 33%, а на газонной траве – 28%, т.е. на этих субстратах разница скорости переработки небольшая, в пределах – 5 – 12%. При увеличении уровня кормления до 1,0 кг корма наблюдается изменение скорости переработки субстрата из опада листьев более чем на 50%, на субстрате из разнотравья – 47%, а на субстрате из газонной травы дождевой червь *E. fetida* переработал 37% поданного продукта. Повышая уровень корма до 1,4 кг, было обнаружено, что в данном случае на всех субстратах идет понижение скорости переработки по сравнению с предыдущим уровнем кормления на 2 – 6%. Из этого следует, что при низкой плотности популяции, но при среднем уровне кормления переработка корма идет более интенсивно на субстрате из листового опада и через 10 недель они перерабатывают более 50%, а при низком и высоком уровнях подачи корма разница в конверсии фитомассы составляет 7 – 8% (табл. 3.18, табл. 3.19, табл. 3.20, рис. 3.8, рис. 3.9, рис. 3.10).

Подвергая более подробному анализу производство биогумуса дождевыми червями *E. fetida*, следует подчеркнуть, что при первоначальной плотности популяции 1,5 кг червей на м² и уровне кормления 0,6 кг корма на субстрате листового опада через 10 недель образуется до 48% биогумуса, на субстрате из разнотравья до 40%, а на субстрате из газонной травы до 35%.

Таблица 3.18 – Производство биогумуса (%) из опада листьев в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Начальная плотность популяции дождевых червей (кг-червей/м ²)	Уровни корма (кг корма/кг дождевого червя в день)		
	0,6	1,0	1,4
0,9	39,9±2,8	51,1±5,6	47,3±6,2
1,5	47,7±3,7	64,5±5,2	69,1±6,9
2,1	35,9±5,3	53,8±7,9	74,7±2,4
F > 366,9 НСР _{0,5} > 9,4			

Поднимая уровень кормления до 1,0 кг корма, наблюдается подъем переработки субстрата из опада листьев до 65%, на субстрате из разнотравья количество корма было переработано на 57%, а на субстрате из газонной травы уровень переработки составляет 49%. При подъеме уровня кормления до 1,4 кг корма обнаруживается, что в данном случае скорость переработки на субстрате из опада листьев становится выше на 4%, на субстрате из разнотравья на 7%, а на субстрате из газонной травы на 8%, по сравнению с предыдущим уровнем.

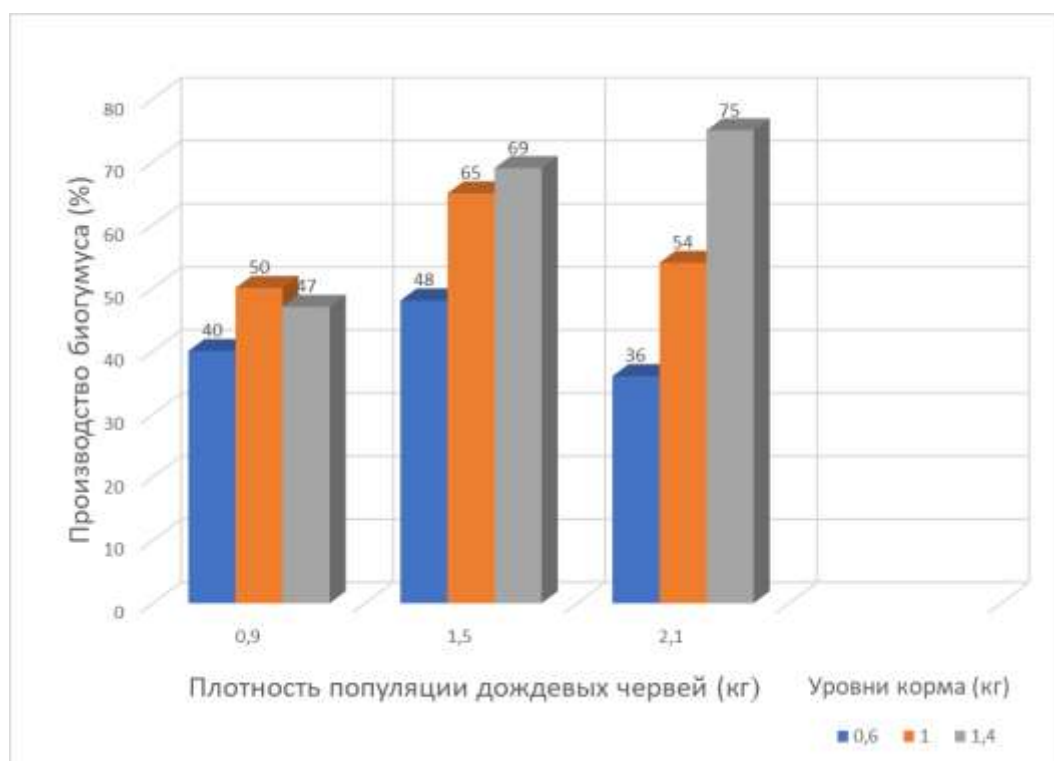


Рис. 3.8 – Производство биогумуса (%) из опада листьев в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Исходя из этого, можно заключить, что при начальной плотности популяции в 1,5 кг червей на м² и постоянном увеличении уровня кормления процент переработки у каждого субстрата растет. Но следует заметить, что при первоначальном повышении на 0,4 кг скорость переработки повышается на 16 – 17%, а при повышении от 1,0 до 1,4 кг она возрастает только на 4 – 7% (табл. 3.18, табл. 3.19, табл. 3.20, рис. 3.8, рис. 3.9, рис. 3.10).

Таблица 3.19 – Производство биогумуса (%) из разнотравья в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Начальная плотность популяции дождевых червей (кг-червей/м2)	Уровни корма (кг корма/кг дождевого червя в день)		
	0,6	1,0	1,4
0,9	32,7±4,3	46,7±4,5	41,2±4,5
1,5	40,3±4,5	57,4±8,5	64,3±5,3
2,1	27,6±4,5	43,7±6,1	59,6±5,2
F>334,5		НСР _{0,5} >8,2	

Изучая особенности влияния максимальной начальной плотности популяции 2,1 кг червей на м² и уровня кормления 0,6 кг на скорость переработки субстратов, было отмечено, что через 10 недель субстрат из опада листьев был переработан на 36%, субстрат из разнотравья на 28%, а субстрат из газонной травы на 26%. При увеличении уровня кормления до 1,0 кг корма скорость переработки субстрата из листового опада повышается на 54%, на субстрате из разнотравья на 44%, а на субстрате из газонной травы на 38%. Увеличивая уровень корма до 1,4 кг, интенсивность процесса переработки продолжает нарастать.

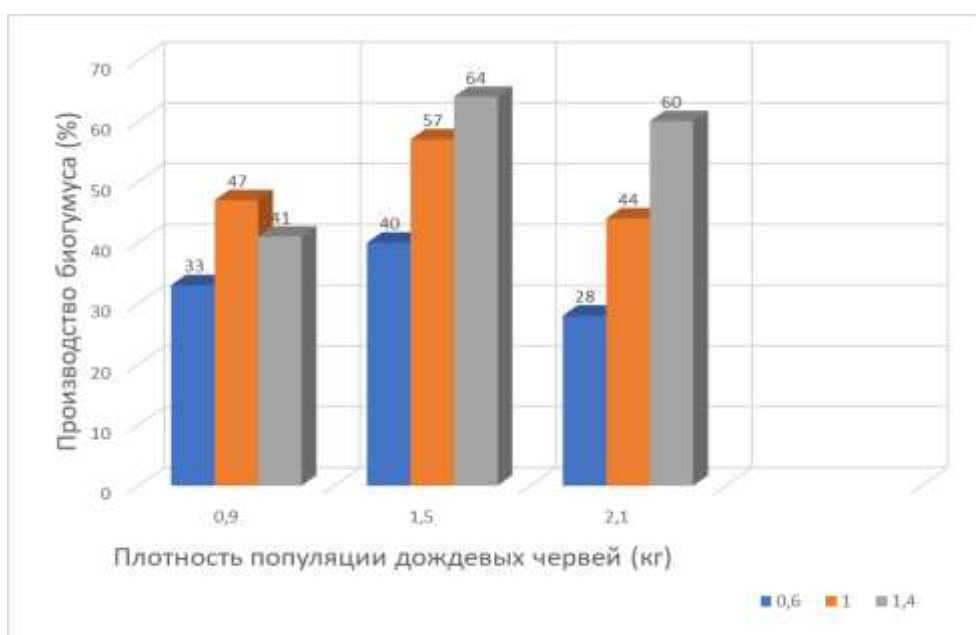


Рис. 3.9 – Производство биогумуса (%) из разнотравья в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

При таких обстоятельствах максимальная плотность популяции на всех субстратах не увеличивает скорости переработки корма, но при любом уровне кормления она только возрастает, хотя в зависимости от субстрата показатели переработки падают (табл. 3.18, табл. 3.19, табл. 3.20, рис. 3.8, рис. 3.9, рис. 3.10).

Таблица 3.20 – Производство биогумуса (%) из газонной травы в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Начальная плотность популяции дождевых червей (кг-червей/м ²)	Уровни корма (кг корма/кг дождевого червя в день)		
	0,6	1,0	1,4
0,9	27,7±1,8	36,5±5	34,9±2,4
1,5	35,4±2,7	49,4±1,9	57,3±4,4
2,1	25,6±1,9	37,8±3,9	49,3±4,3
F>426,5 HCP _{0,5} >5,8			

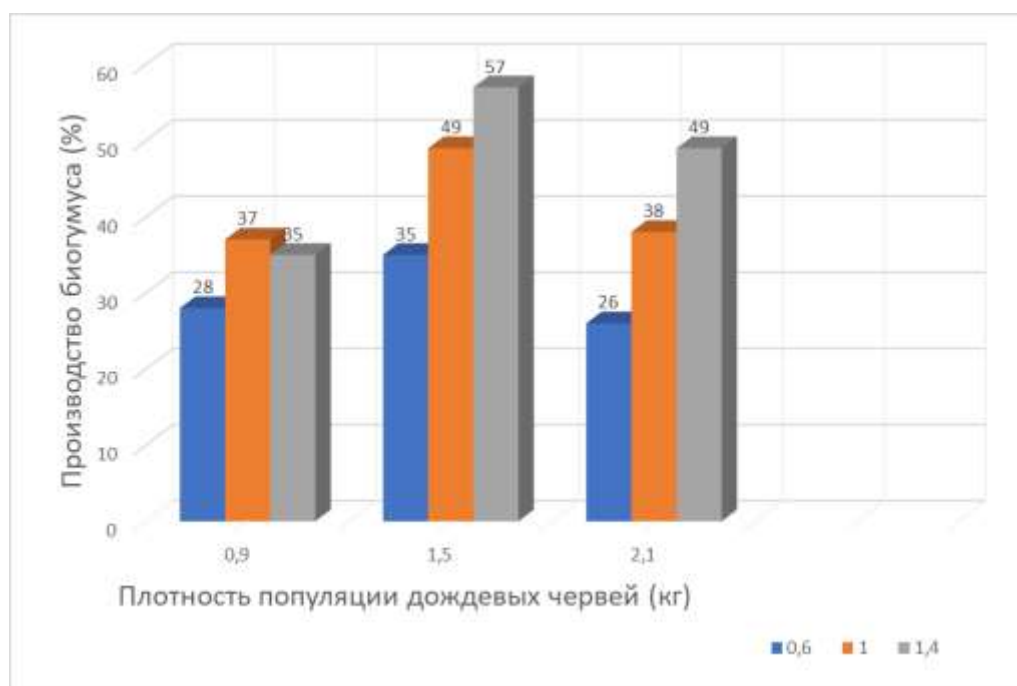


Рис. 3.10 – Производство биогумуса (%) из газонной травы в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Рассмотрев результаты исследований о взаимодействии дождевых червей *E. fetida* и различных субстратов при производстве биогумуса, было обращено внимание на то, что при низкой плотности популяции, но при среднем уровне кормления переработка корма идет более интенсивно на субстрате из листового опада, и через 10 недель они перерабатывают более 50% корма. А при низком и высоком уровне подачи корма разница в конверсии фитомассы составляет 7 – 8%.

Хотя при начальной плотности популяции в 1,5 кг червей на м² и постоянном увеличении уровня кормления процент переработки у каждого

субстрата растет, но при первоначальном повышении на 0,4 кг скорость переработки повышается в среднем на 16 – 17%. В тоже время при максимальной плотности популяции на всех субстратах не происходит увеличения скорости переработки корма, и при любом уровне кормления она только возрастает. Хотя в зависимости от субстрата показатели переработки ниже по сравнению с плотностью популяции 1,5 кг червей на м² (табл. 3.18, табл. 3.19, табл. 3.20, рис. 3.8, рис. 3.9, рис. 3.10).

Подвергнув более детальному исследованию изменения биомассы дождевых червей *E. fetida* в зависимости от плотности популяции и уровней кормления, следует акцентировать внимание на том, что при первоначальной плотности популяции 0,9 кг червей на м² и уровне кормления 0,6 кг корма через 10 недель на субстрате из листового опада дождевые черви *E. fetida* потеряли 18% биомассы, а на субстрате из разнотравья биомасса снизилась до 26%, в тоже время на субстрате из газонной травы снижение биомассы почти такое же (28%) как и на субстрате из разнотравья. Увеличивая уровень подачи корма до 1,0 кг, было обнаружено, что *E. fetida* на субстрате из опада листьев при данном уровне корма также теряет биомассу, но в меньшем количестве (12%). Исследуя рост *E. fetida* на субстрате из разнотравья, потеря биомассы (16%) почти не отличается от субстрата из листового опада. Но вместе с тем на субстрате из газонной травы они уже потеряли 36% биомассы. Когда увеличили уровень кормления до 1,4 кг корма, то была отмечена тенденция на прирост биомассы на всех субстратах. Так, на субстрате из листового опада она возросла на 40%, на субстрате из разнотравья на 32%, а на субстрате из газонной травы на 28%. В данном случае заметно, что при плотности популяции 0,9 кг червей на м² с увеличением подачи корма идет постепенное возрастание биомассы, несмотря на ее убывание. И только в одном случае на газонной траве при уровне корма в 1,0 кг было отмечено резкое падение биомассы на 36% (табл. 3.21, табл. 3.22, табл. 3.23, рис. 3.11, рис. 3.12, рис. 3.13).

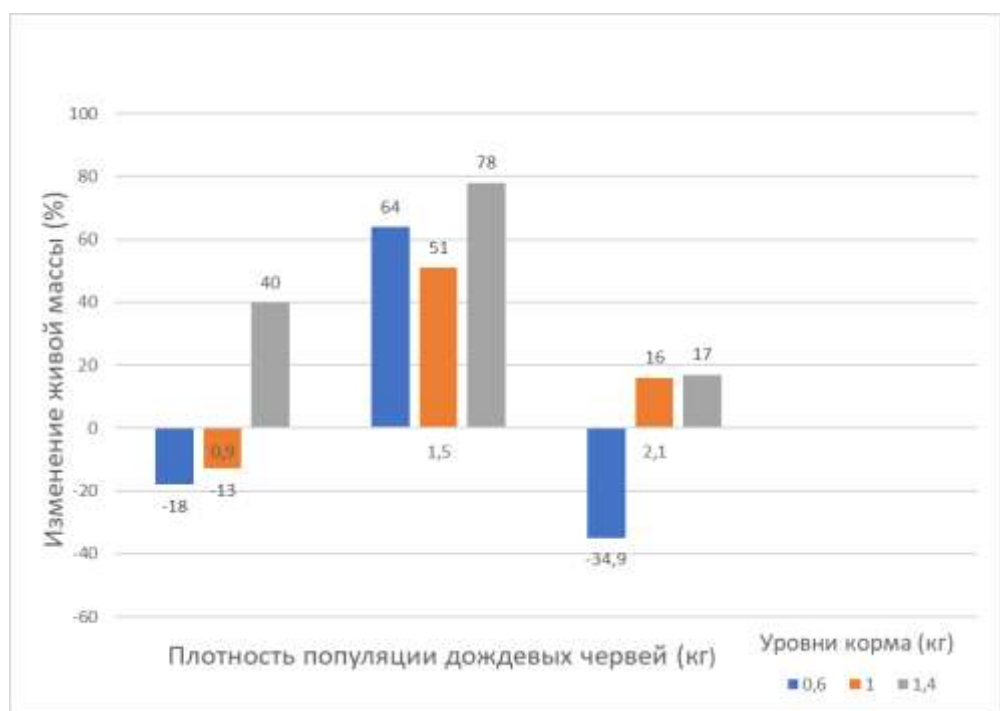


Рис. 3.11 – Изменение живой массы (%) дождевого червя на субстрате из опада листьев в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Проведя более детальный анализ изменения биомассы дождевых червей *E. fetida* в зависимости от плотности популяции и уровней кормления, следует отметить, что при первоначальной плотности популяции 1,5 кг червей на м² и уровне кормления 0,6 кг корма через 10 недель на субстрате из листового опада дождевые черви *E. fetida* имеют положительный эффект возрастания биомассы на 49%, на субстрате из разнотравья биомасса возросла на 44% и на субстрате из газонной травы на 41%.

Таблица 3.21 – Изменение живой массы (%) дождевого червя на субстрате из опада листьев в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Начальная плотность популяции дождевых червей (кг-червей/м2)	Уровни корма (кг корма/кг дождевого червя в день)		
	0,6	1,0	1,4
0,9	-18,3±0,9	-12,5±1,8	39,6±5,6
1,5	49,3±5,1	50,5±2,4	78,1±4,8
2,1	-24,7±2,4	15,8±1,3	16,7±1,9
F> 255,5 НСР _{0,5} >6,4			

При повышении уровня кормления до 1,0 кг червей на м² более резкий подъем биомассы был на субстрате из разнотравья (63%), а на субстратах из листового опада и газонной травы подъем биомассы был почти одинаковый (51% и 49% соответственно). Когда повысили уровень кормления до 1,4 кг корма, то отметили, что самый высокий прирост биомассы на субстрате из листового опада – 78%, а самый низкий – на субстрате из газонной травы – 61%. Отсюда следует, что при данной плотности популяции и всех уровнях кормления идет положительный прирост биомассы у червей (табл. 3.21, табл. 3.22, табл. 3.23, рис. 3.11, рис. 3.12, рис. 3.13).

Таблица 3.22 – Изменение живой массы (%) дождевого червя на субстрате из разнотравья в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Начальная плотность популяции дождевых червей (кг-червей/м ²)	Уровни корма (кг корма/кг дождевого червя в день)		
	0,6	1,0	1,4
0,9	-26,2±3,7	-15,7±4,4	31,6±3,9
1,5	44,3±3,9	62,5±7,2	66,3±3,6
2,1	-29±3,4	19,7±3,6	10,9±0,75
F> 174,7 HCP _{0,5} > 7,5			

Проанализировав особенности изменения биомассы дождевых червей *E. fetida* в зависимости от плотности популяции и уровней кормления, следует заметить, что при самой высокой первоначальной плотности популяции 2,1 кг червей на м² и уровне кормления 0,6 кг корма через 10 недель на субстрате из листового опада происходило понижение биомассы червей на 25%, на субстрате из разнотравья до 29% и на субстрате из газонной травы на 21%.

При увеличении уровня кормления до 1,0 кг корма биомасса червей на всех субстратах повышается почти одинаково, т.е. в пределах 16 – 19%. Увеличивая уровень корма еще на 0,4 кг, было установлено, что при данной

плотности популяции и уровне кормления у червей *E. fetida* биомасса высоко не поднимается.

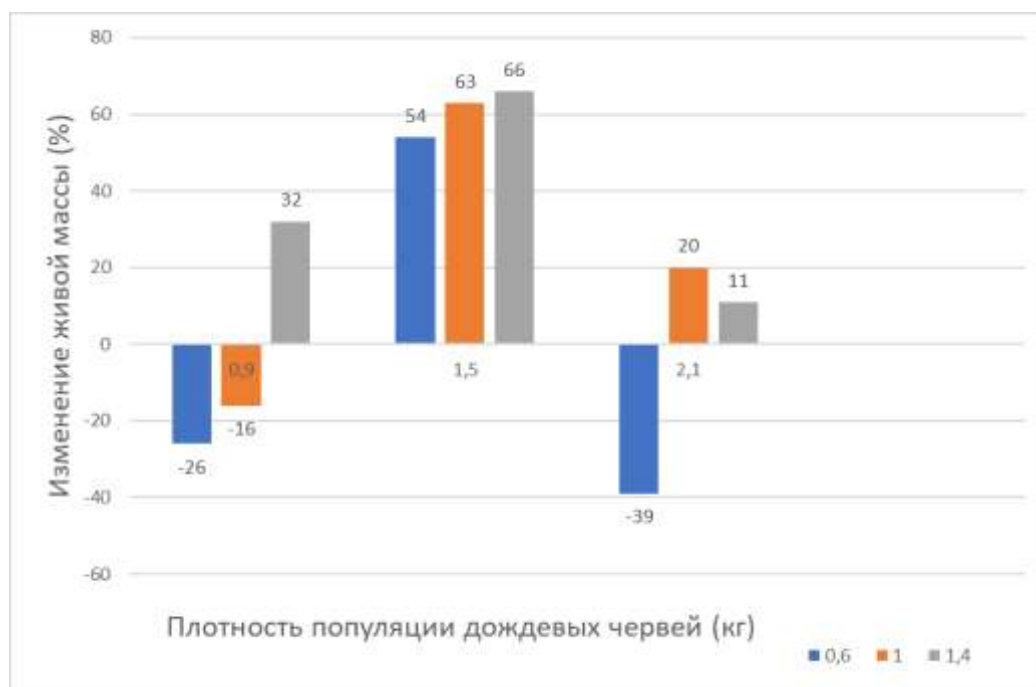


Рис. 3.12 – Изменение живой массы (%) дождевого червя на субстрате из разнотравья в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Таким образом, при высокой плотности популяции *E. fetida* биомасса всегда остается на низком уровне (табл. 3.21, табл. 3.22, табл. 3.23, рис. 3.11, рис. 3.12, рис. 3.13).

Процентное изменение живой массы дождевых червей в зависимости от плотности популяции и уровней кормления представлены в таблицах. Результаты показали, что как плотность популяции дождевого червя *E. fetida*, так и уровни корма приводили к значительному различию в росте биомассы дождевых червей. Показана значительная взаимосвязь между плотностью популяции и скоростью кормления.

Таблица 3.23 – Изменение живой массы (%) дождевого червя на субстрате из газонной травы в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

Начальная плотность популяции дождевых червей (кг-червей/м ²)	Уровни корма (кг корма/кг дождевого червя в день)		
	0,6	1,0	1,4
0,9	-27,6±1,9	-35,7±4,7	28,3±2,7
1,5	41,4±3,3	49,5±2,9	61,4±4,6
2,1	-21,4±3,3	17,7±2,8	9,7±1,5
F> 185,5			HCP _{0,5} > 4,8

Когда взаимодействие значительно, сравнения между средствами одного фактора могут быть затемнены эффектами взаимодействия. В биомассе дождевых червей между 0,90 и 1,50 кг червей/м² и между 1,50 и 2,10 кг червей/м² взаимосвязь незначительная. Уровни корма, которые не приводили к значительному росту биомассы дождевых червей, составляет 0,6 кг корма/кг червя в день (табл. 3.21, табл. 3.22, табл. 3.23, рис. 3.11, рис. 3.12, рис. 3.13).

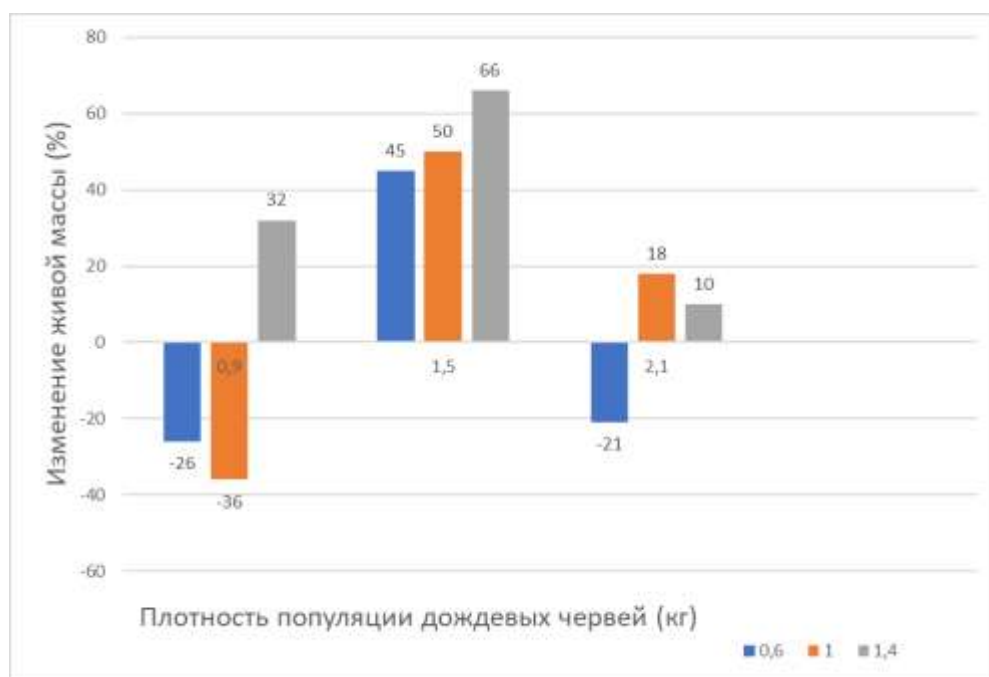


Рис. 3.13 – Изменение живой массы (%) дождевого червя на субстрате из газонной травы в опытных контейнерах в режиме импульсной подачи корма через 10 недель

С точки зрения эффективности вермиконверсии, а также изменения живого веса дождевого червя *E. fetida*, наблюдалась четкая тенденция подъема в зависимости от первоначальной плотности популяции 1,5 кг червей/м² и подъемом уровня кормления, которая достигает максимума при 1,4 кг корма/кг дождевого червя в день. В то время как в контейнерах, работающих с первым поколением, наблюдалась явная тенденция к росту биомассы дождевых червей и, соответственно, тенденция к росту производства биогумуса, которая постепенно замедлялась.

В этих экспериментах даны оценки предпринятых попыток производства биогумуса на основе растительных субстратов и предприняты усилия определить причины, по которым лабораторные исследования не превратились в более масштабные инициативы по биогумусообразованию таких субстратов. Были представлены новые подтверждения эффективности технологии быстрой переработки фитомассы.

В настоящее время были предложены концепции высокоскоростных вермитехнологий для фитомассы сорняков Индийского региона (Gajalakshmi et al., 2002; 2005; Sankar Ganesh et al., 2009; Abbasi et al., 2009; Abbasi et al., 2011; Tauseef et al., 2013) которые позволили многократно повысить эффективность вермиреакторов, одновременно делая их более экономичными. Помимо других преимуществ, эти инициативы позволяли перерабатывать биогумусную фитомассу и другие отходы с очень небольшим добавлением коровьего навоза (Gajalakshmi et al., 2001; Gupta et al., 2007; Saini et al., 2008; Sivakumar et al., 2009; Yadav, Garg, 2011; Suthar, Sharma, 2013). Это требование до сих пор серьезно ограничивало возможности и полезность биогумуса, поскольку навоз животных имеет несколько конкурирующих применений и обладает высокой стоимостью. Более того, доступно гораздо большее количество субстратов, таких как фитомасса опавших листьев, разнотравья, газонных трав и другой городской биомассы, чем навоз животных, необходимый для их обработки, если

система должна зависеть от смешивания навоза в соотношении 1:1 (навоз: фитомасса) или выше.

3.5 Испытание биогумуса, полученного из сельскохозяйственных отходов и городской фитомассы на проращивание семян и рост рассады томатов и огурцов

Возникает много вопросов, связанных не только с эффективностью получения качественного биогумуса из фитомассы различных растений, но и с характером действия этих биогумусов и его водных экстрактов на стимулирование роста и развития растений, повышение устойчивости иммунной системы, а также определение защитных свойств биогумуса от болезней и вредителей. Вследствие этого была поставлена задача исследовать влияния концентраций вермичая, извлеченного из биогумусов, на скорость проращивания и развитие рассады огурцов и томатов.

Были проведены лабораторные эксперименты для проверки влияния водного экстракта биогумусов из навоза КРС, лошадей, фитомассы – опада листьев, газонной травы и разнотравья на проращивание семян огурца и томата. 25% (соотношение вермикомпоста к воде 1:4 по объему) аэрированный экстракт вермикомпоста был приготовлен с использованием вермикомпостов на основе конского и КРС навоза, опада листьев, газонной травы, разнотравья и воды, как описано Pant et al. (2009) и был дополнительно разбавлен водой для получения 10% экстрактов вермикомпоста. Семена огурца и томата замачивали и проращивали в чашках Петри в течение 5 суток в различных концентрациях экстрактов биогумуса (25%, 10%) и в воде (0%) по методике Белика В.Ф. (1992). Проростки высаживали в торфосмесь. Среду опрыскивали один раз во время посадки соответствующей концентрацией экстракта из биогумуса, который использовался для замачивания семян. Растения выращивали на столах, оснащенных верхними разбрызгивателями. Эксперименты были организованы в полностью рандомизированном порядке с 5 обработками,

основанными на концентрациях, и 4 повторениями на обработку. Каждое повторение содержало 20 растений, и из каждой повторности отбиралось от 3 до 5 саженцев. Скорость прорастания семян была зарегистрирована после 9 дней. Саженьцы были собраны через 4 недели после посадки. Были проведены биометрические учеты (Белик, 1992). Измеряли высоту растения, количество и площадь листьев.

Экстракт биогумуса (25%, 10%) из конского навоза и отходов разнотравья имели аналогичные значения pH, которые были близки к нейтральным pH 7,3 и 7,5 соответственно (рис. 3.14). Экстракты биогумуса содержали высокие концентрации общего азота, фосфора, калия, магния и кальция.



Рис. 3.14 – Экстракты биогумуса (10%, 25%) из конского навоза (1) и отходов разнотравья (2)

Замачивание семян в экстракте биогумуса значительно ($P < 0,05$) увеличивало процент прорастания и рост рассады огурцов и томатов. Увеличение концентрации вермикомпостного экстракта увеличивало процент прорастания семян и размеры свежих корней рассады огурцов и томатов, и демонстрировал значительный ($P < 0,05$) линейный эффект. Аналогичные тенденции наблюдались в побегах надземной части растений,

количестве листьев и высоте, а также в длине корней и площади поверхности листьев.

Длительное замачивание семян огурцов и томатов значительно увеличивало всхожесть семян при 10%-ном содержании экстракта биогумуса, тогда как всхожесть семян, пропитанных 25%-ным содержанием экстракта биогумуса, немного понижалась, приближаясь иногда к таковым в контроле. Всхожесть значительно снизилась ($P < 0,05$) у семян, пропитанных 50% вермикомпостным экстрактом. Реакция прорастания семян огурцов и томатов на концентрации биогумусных экстрактов была достоверна ($t = >10,2$). Увеличение концентрации некоторых биогумусных экстрактов приводило к значительному изменению ($t = >11,34$; $F = >45,52$) реакции на рост семян огурцов и томатов, при которой площадь листьев растений достигала максимума при 10%-ной концентрации экстракта биогумуса в течение 10 дней и значительно снижалась при 25%-ной и 50%-ной концентрации (табл. 3.24, рис. 3.15).

Таблица 3.24 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на рост площади листьев томатов в течении 10 дней, см²

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	15,9±0,4	15,9±0,4	15,9±0,4	15,9±0,4	15,9±0,4	
10%	24,5±1,26	28,02±1,3	28,1±1,8	31,6±2,06	30,6±0,8	>13,02
25%	25,7±0,7	24,9±1,2	26,9±1,76	29,3±0,7	32,4±1,4	>12,03
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,7 - 2,5			

Анализируя влияние концентраций экстрактов биогумуса на рост площади листьев томата в течении 10 дней, было отмечено, что при 10% концентрации экстракта биогумуса из навоза КРС площадь листьев увеличивается на 54%, а при 25% концентрации экстракта она увеличивается на 61,6% по сравнению с контролем, в то время как высота растения и количество листьев по сравнению с контролем при 10% экстракте

повышается на 47% и 16,5% соответственно, а при 25% экстракте на 16% и на 9,3% соответственно. Это говорит о том, что 25% экстракт оказывает большее влияние на интенсивность увеличения площади листьев, а не на рост растения в высоту (табл. 3.24, рис. 3.15).

При изучении влияния концентраций экстракта биогумуса из конского навоза на рост томата в течении 10 дней было выявлено, что 10% экстракт биогумуса оказал большое влияние на площадь листьев, увеличивая её на 76,2% по сравнению с контролем, а 25% экстракт на 56,6%.

Рассматривая влияние экстракта на рост стебля и количество листьев, было установлено, что высота растения увеличилась почти на 70%, а количество листьев стало выше на 3,1%. При 25% концентрации экстракта биогумуса высота томатов возросла на 38,5%, а количество листьев на 18,5%.

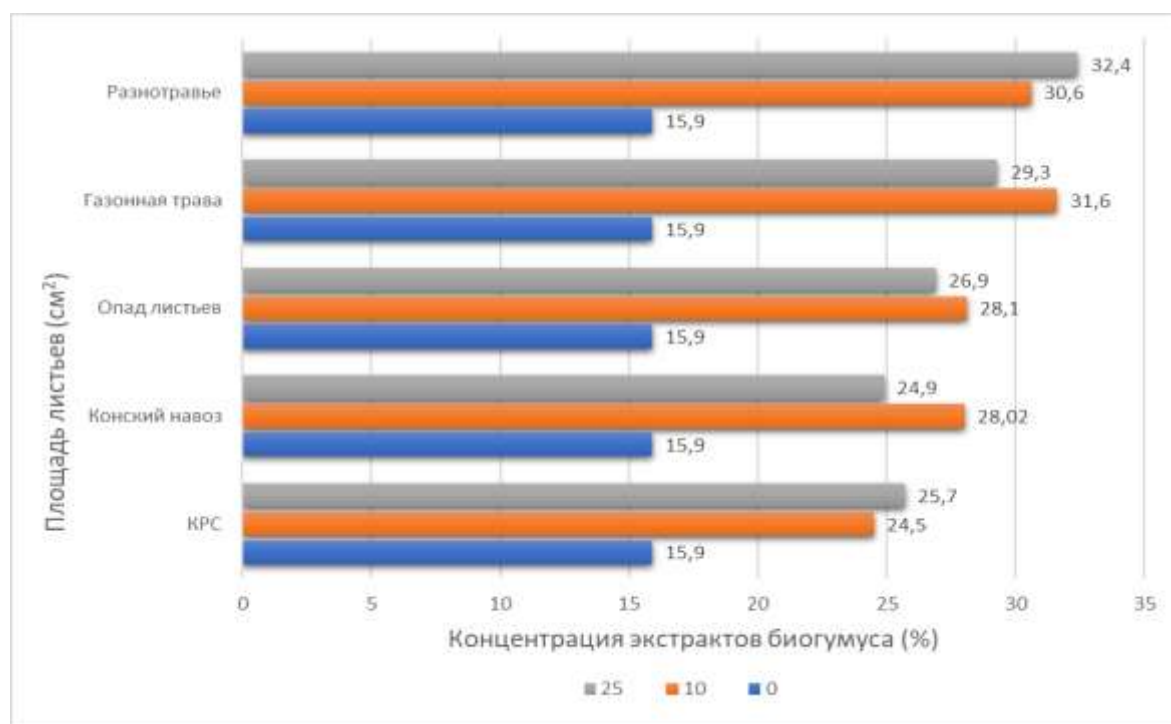


Рис. 3.15 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на рост площади листьев томатов в течении 10 дней, см²

Исследования показали, что 10% экстракт оказывает большее влияние на площадь листьев и рост растения в высоту, чем на количество листьев, а 25% экстракт, наоборот, большее влияние оказывает на образование листьев (табл. 3.25, табл. 3.26, рис. 3.15, рис. 3.16).

Таблица 3.25 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на высоту стебля томата в течении 10 дней, см

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	8,3±3,2	8,3±3,2	8,3±3,2	8,3±3,2	8,3±3,2	
10%	12,2±4,8	14,1±3,6	15,2±4,9	13,3±4,3	13,7±4,4	>13,02
25%	9,4±4,3	11,5±3,8	14,6±5,1	10,6±3,3	15,6±4,6	>12,03
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,7 - 2,5			

Изучая влияние экстракта биогумуса из фитомассы, такой как опад листьев, газонная трава и разнотравье, на интенсивность роста томатов в течении 10 дней, отмечалось, что 10% экстракт биогумуса из опада листьев оказал меньшее влияние на площадь листьев томата (76,7%) чем экстракт биогумуса из разнотравья (92,5%) и из газонной травы (98,7%). В тоже время при 25% концентрации водного экстракта биогумуса из разнотравья площадь листьев увеличилась более чем в 2 раза, а у экстракта из газонной травы она поднялась на 84,3% по сравнению с контрольным ростом, в то время как при поливе экстрактом биогумуса из опада листьев площадь листьев выросла на 69,2%.

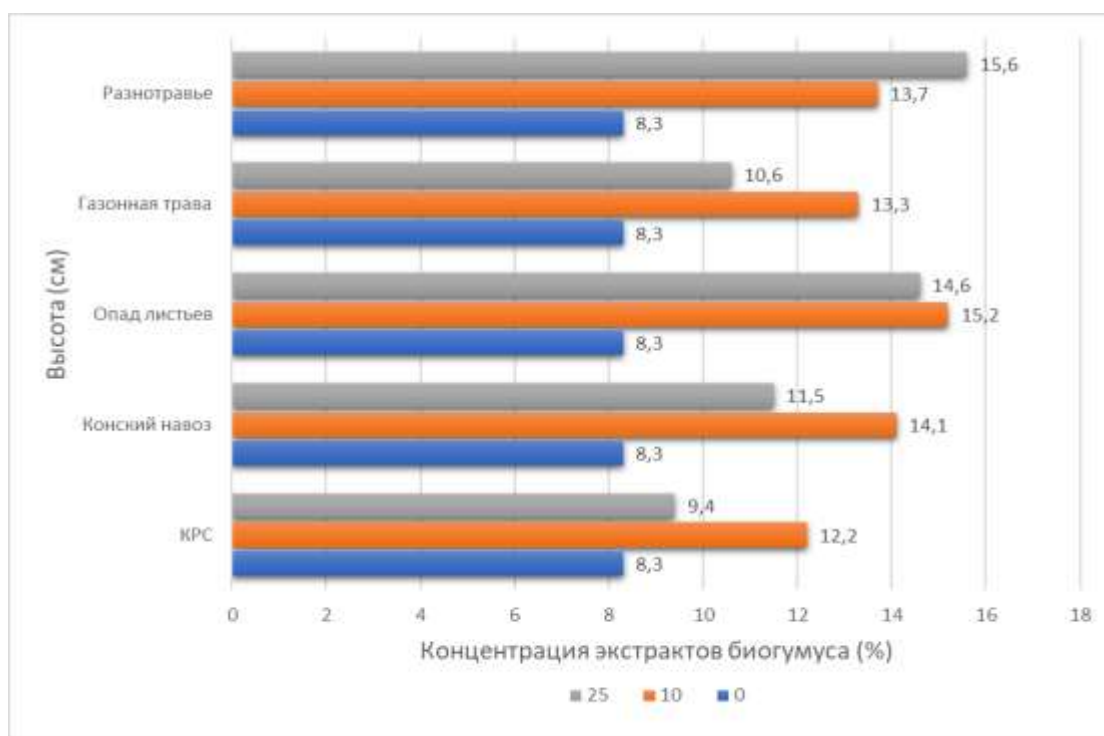


Рис. 3.16 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на высоту стебля томата в течении 10 дней, см

Рассматривая влияние экстрактов из фитомассы на высоту растения и количество листьев томата, было обнаружено, что 10% экстракт биогумуса из опада листьев больше всего повлиял на высоту томата (83,1%) и на образование листьев, так как их количество повысилось на 36,1%. А при поливе экстрактом биогумуса из разнотравья повышение высоты томата произошло на 65,1% и количество листьев на 26,8%. В данном случае экстракт биогумуса из газонной травы оказал меньшее влияние на высоту (60,2%) и количество листьев (24,7%) чем другие экстракты биогумуса из фитомассы. Хотя экстракт биогумуса из газонной травы оказался более активным при росте площади листьев и их количества, чем экстракты биогумуса из навоза КРС и лошадей.

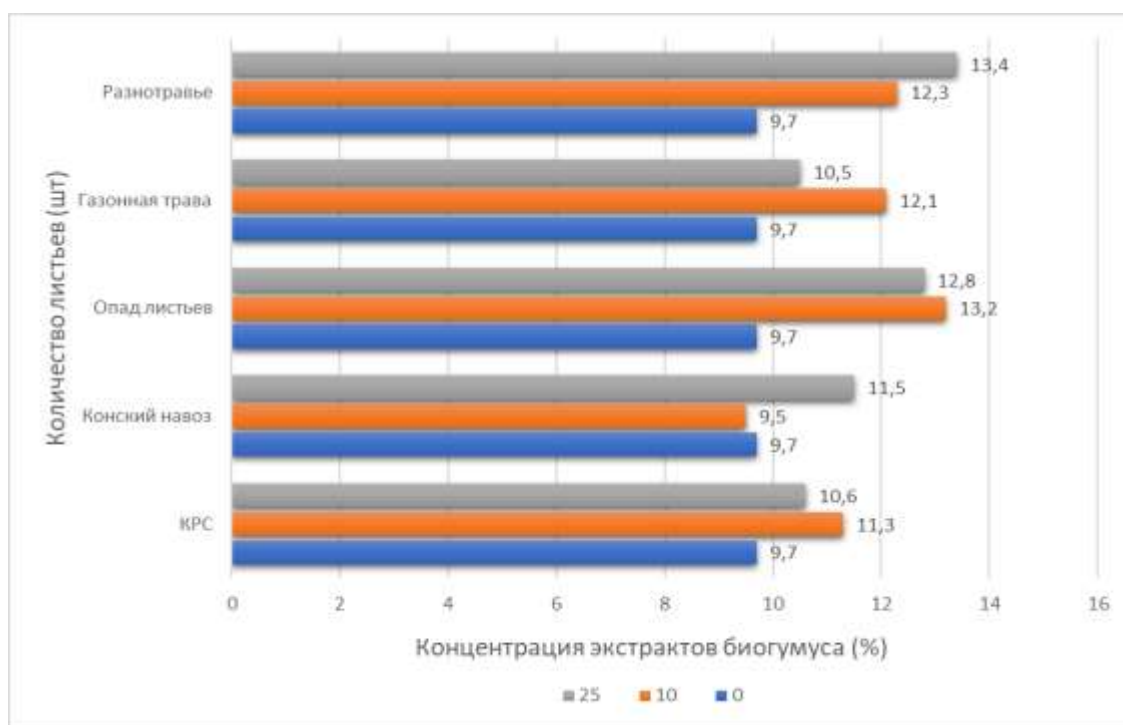


Рис. 3.17 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на количество листьев томата в течении 10 дней, шт

Исследуя влияние 25% концентрации экстрактов биогумуса на высоту и количество листьев томата, обнаружено, что в этом случае интенсивнее всего был экстракт биогумуса из разнотравья, потому что высота растения увеличилась на 87,9%, а количество листьев на 38,1%. Экстракт биогумуса из газонной травы оказал самое меньшее влияние как на высоту растения (27,7%), так и на количество листьев (8,2%) (табл. 3.25, табл. 3.26, рис. 3.16, рис. 3.17).

Таблица 3.26 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на количество листьев томата в течении 10 дней, шт

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	9,7±1,15	9,7±1,15	9,7±1,15	9,7±1,15	9,7±1,15	
10%	11,3±0,9	9,5±0,5	13,2±0,4	12,1±0,5	12,3±1,1	>13,02
25%	10,6±1,5	11,5±0,5	12,8±0,5	10,5±0,5	13,4±2,8	>12,03
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,7 - 2,5			

Рассматривая влияние концентраций различных экстрактов биогумуса на рост площади листьев томата через 30 дней, было отмечено, что при 10% концентрации экстракта биогумуса из навоза КРС площадь листьев увеличивается на 82,9% по сравнению с контролем, а при 25% концентрации она увеличилась на 64,9% по сравнению с контролем в то время как высота растения и количество листьев по сравнению с контролем при 10% экстракте повышается на 35,1% и 21,7% соответственно, а при 25% экстракте на 26,2% и на 26,3% соответственно. В данном случае показано, что как 10%, так и 25% экстракт оказывают влияние на интенсивность увеличения площади листьев, высоты томата, а также идет рост количества листьев (табл. 3.27, табл. 3.28, табл. 3.29, рис. 3.18, рис. 3.19, рис. 3.20).

Таблица 3.27 – Влияние концентраций экстрактов биогумусов на рост площади листьев томатов в течении 30 дней, см²

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	112,9±1,5	112,9±1,5	112,9±1,5	112,9±1,5	112,9±1,5	
10%	206,6±1,12	220,8±1,63	187,4±12,3	169,3±11,1	199,1±13,1	>10,20
25%	186,2±2,24	183,3 ±1,25	179,2±11,7	169,8±0,2	180,4±3,2	>11,34
Критерий F = >68,03			НСР _{0,5} 2,6 – 10,4			

Изучая влияние концентраций экстракта биогумуса из конского навоза на рост томата в течении 30 дней, было выявлено, что 10% экстракт биогумуса оказал большое влияние на площадь листьев, увеличивая её на 95,5% по сравнению с контролем, а при поливе 25% экстрактом на 62,4%. Рассматривая влияние экстракта на рост стебля и количество листьев, было установлено, что высота растения увеличилась почти на 35,1%, а количество листьев на 13,1%. При 25% концентрации экстракта биогумуса высота томатов возросла на 40,9%, а количество листьев на 33,3%. Оказалось, что 10% экстракт оказывает большее влияние только на рост площади листьев, а 25% экстракт, наоборот, большее влияние на рост растения в высоту и на

количество листьев (табл. 3.27, табл. 3.28, табл. 3.29, рис. 3.18, рис. 3.19, рис. 3.20).

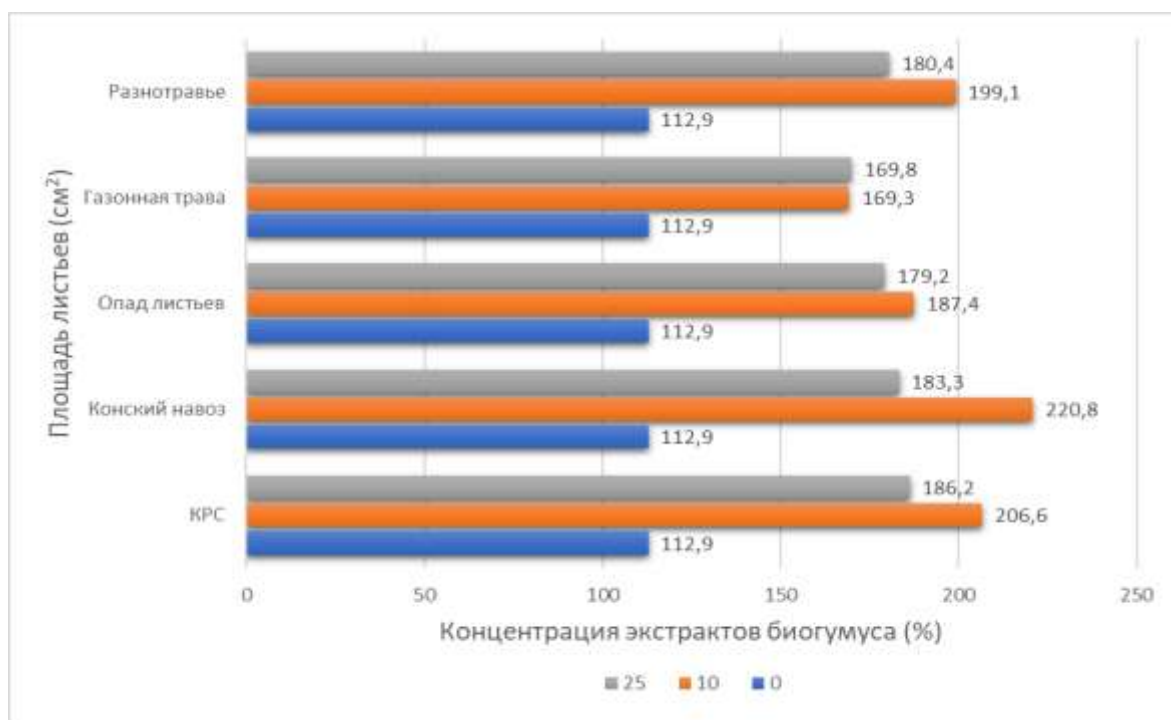


Рис. 3.18 – Влияние концентраций экстрактов биогумусов на рост площади листьев томатов в течении 30 дней, см²

Анализируя интенсивность роста томатов в течении 20 дней и влияние концентраций экстрактов биогумуса из навоза КРС и лошадей, было замечено, что в контрольном варианте площадь листьев за это время увеличилась в 7,1 раза, а при 10% концентрации экстракта биогумуса из навоза КРС в 8,5 раза, а из конского навоза в 7,8 раза. В то время как при 25% концентрации интенсивность роста площади листьев была такая же, как и в контрольном варианте, т.е. она во всех случаях возросла более чем в 7 раз (таблица 3.27, табл. 3.28, табл. 3.29, рис. 3.18, рис. 3.19, рис. 3.20, рис. 3.21).



Рис. 3.19 – Влияние концентрации экстрактов биогумусов (1 – контроль, 2 – конский навоз, 3 – опад листьев) на высоту рассады томата в течении 30 дней

Исследуя влияние экстрактов биогумуса из фитомассы, при дальнейшем росте томатов их интенсивность роста площади листьев, высота растения и количество образовавшихся листьев в течении 30 дней увеличивалась. Рассматривая влияние 10% экстракта биогумуса из разнотравья, было замечено, что он оказал большее влияние на площадь листьев томата (76,3%), чем экстракт биогумуса из опада листьев (65,9%) и из газонной травы (49,9%).

Таблица 3.28 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на высоту стебля томата в течении 30 дней, см

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	46,2±1,9	46,2±1,9	46,2±1,9	46,2±1,9	46,2±1,9	
10%	62,4±2,5	61,5±0,5	54,3±0,5	33,1±0,5	36,6±3,5	>13,02
25%	58,3±0,5	65,1±1,1	56,2±0,5	49,4±7,03	47,5±8,5	>12,03
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,7 - 2,5			

Отмечается, что экстракт биогумуса из газонной травы в первые 10 дней роста растения был более интенсивным (в 2 раза) чем в последние 20 дней. В

тоже время при влиянии 25% концентрации водного экстракта биогумуса из разнотравья, газонной травы и опада листьев на площадь листьев показало, что она увеличивалась не более чем на 60%.

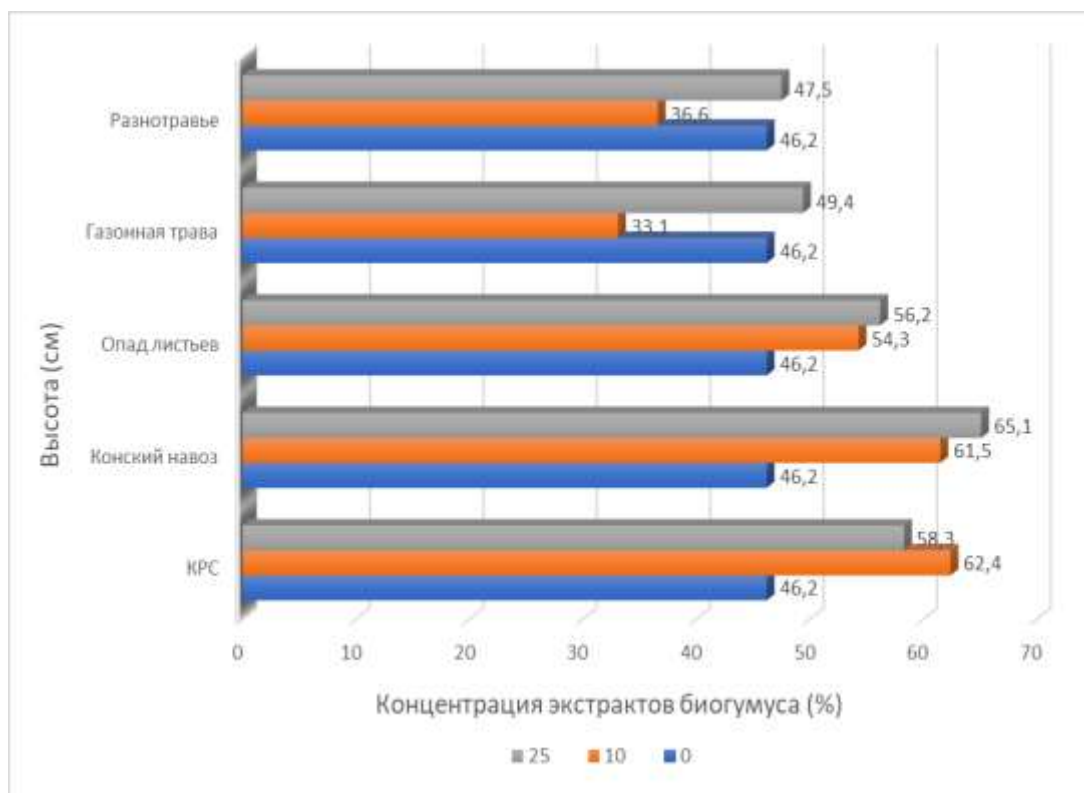


Рис. 3.20 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на высоту стебля томата в течении 30 дней, см

Рассматривая влияние экстрактов из фитомассы на высоту растения и количество листьев томата, было обнаружено, что 10% экстракт биогумуса из опада листьев больше всего повлиял на высоту томата (17,5%) и на образование листьев, так как их количество повысилось на 25,1%. А при поливе экстрактом биогумуса из разнотравья повышение высоты томата оказалось ниже контрольного варианта на 20,2%, а количество листьев выше на 31,5%. Действие экстракта биогумуса из газонной травы оказалось ниже, чем в контрольном варианте на 28,4%, а количество листьев возросло незначительно (9,7%). Было отмечено, что экстракты биогумуса из фитомассы на взрослых растениях становятся менее активными при росте

площади листьев и их количества, чем экстракты биогумуса из навоза КРС и лошадей.

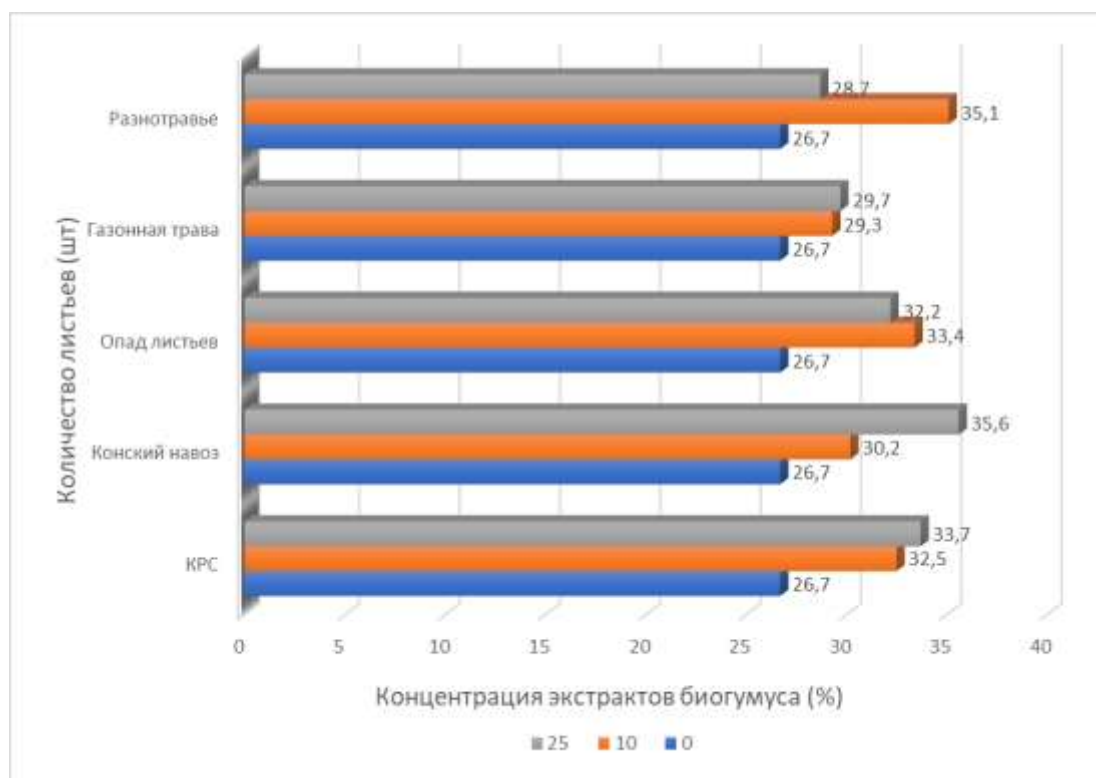


Рис. 3.21 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на количество листьев томата в течении 30 дней, шт

Исследуя влияние 25% концентрации экстрактов биогумуса на высоту и количество листьев томата, отмечено, что в этом случае интенсивнее всего оказался экстракт биогумуса из листового опада, так как высота стебля увеличилась на 21,6%, а количество листьев на 20,6%. Экстракт биогумуса из разнотравья оказывал самое незначительное влияние как на высоту растения (2,8%), так и на количество листьев (7,5%) (табл. 3.28, табл. 3.29, рис. 3.20, рис. 3.21).

Анализируя влияние концентраций экстрактов биогумуса на рост площади листьев огурца в течении 10 дней, было установлено, что при 10% концентрации экстракта биогумуса из навоза КРС площадь листьев увеличивается в 2,4 раза, а при 25% концентрации экстракта она возросла в 3,1 раза по сравнению с контрольным вариантом. В то время как высота растения и количество листьев по сравнению с контролем при 10% экстракте

повышается в 1,9 и 1,3 раза соответственно, а при 25% экстракте в 1,8 и 1,4 раза соответственно. Это говорит о том, что 25% экстракт оказывает большее влияние на интенсивность увеличения площади листьев, а не на рост растения в высоту (табл. 3.30, рис. 3.22).

Таблица 3.29 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на количество листьев томата в течении 30 дней, шт

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	26,7±1,1	26,7±1,1	26,7±1,1	26,7±1,1	26,7±1,1	
10%	32,5±4,1	30,2±3,5	33,4±0,5	29,3±0,5	35,1±0,5	>13,02
25%	33,7±0,6	35,6±1,4	32,2±0,5	29,7±0,6	28,7±0,6	>12,03
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,7 - 2,5			

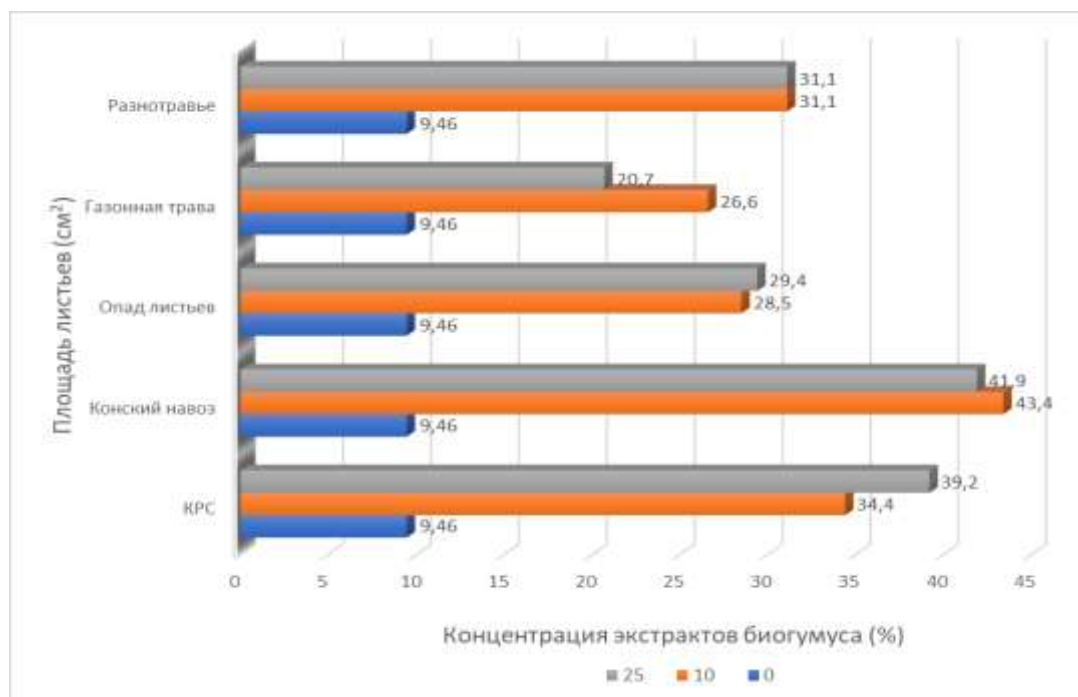


Рис. 3.22 – Влияние концентраций экстрактов биогумусов на рост площади листьев огурца в течении 10 дней, см²

Рассматривая влияния концентраций экстракта биогумуса из конского навоза на рост огурца в течении 10 дней, было выявлено, что 10% экстракт биогумуса оказал большое влияние на площадь листьев, увеличивая её в 3,6

раза по сравнению с контролем, а при влиянии 25% экстракта в 3,4 раза. Рассматривая влияние экстракта на рост стебля и количество листьев, было установлено, что высота растения увеличилась почти в 2,1 раза, количество листьев стало больше в 1,4 раза. При 25% концентрации экстракта биогумуса высота огурца возросла в 2 раза, а количество листьев в 1,2 раза. Оказалось, что 10% экстракт оказывает большее влияние на площадь листьев и рост стебля в высоту, чем на количество листьев, а 25% экстракт большее влияние оказывает на площадь листьев и рост стебля в высоту (табл. 3.30, табл. 3.31, табл. 3.32, рис. 3.22, рис. 3.23, рис. 3.24).

Таблица 3.30 – Влияние концентраций экстрактов биогумусов на рост площади листьев огурца в течении 10 дней, см²

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	9,46±0,93	9,46±0,93	9,46±0,93	9,46±0,93	9,46±0,93	
10%	34,4±1,1	43,4±2,3	28,5±1,3	26,6±1,7	31,1±0,5	>18,61
25%	39,2±1,4	41,9±0,3	29,4±0,6	20,7±1,4	31,1±2,1	>12,12
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,6 – 4,1			

При изучении влияние экстракта биогумуса из фитомассы, такой как опад листьев, газонная трава и разнотравье, на интенсивность роста огурцов в течении 10 дней, следует заметить, что 10% экстракт биогумуса из газонной травы оказал меньшее влияние на площадь листьев огурца (181,2%) чем экстракт биогумуса из опада листьев (201,3%) и из разнотравья (228,8%). В тоже время при 25% концентрации водного экстракта биогумуса из разнотравья площадь листьев увеличилась на 227,7%, а при использовании экстракта из опада листьев она поднимается на 210,8% по сравнению с контрольным вариантом. Действие экстракта биогумуса из газонной травы на площадь листьев в данном случае оказалась самой низкой и составила 118,8% (табл. 3.30, рис. 3.22).

Таблица 3.31 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на высоту стебля огурца в течении 10 дней, см

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	3,9±0,05	3,9±0,05	3,9±0,05	3,9±0,05	3,9±0,05	
10%	7,3±0,25	8,2±0,05	8,3±0,2	7,1±0,4	5,5±0,5	>18,61
25%	7,1±0,05	8,1±0,05	8,1±0,05	8,2±0,3	9,9±0,2	>12,12
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,6 – 4,1			

Рассматривая влияние экстрактов из фитомассы на высоту растения и количество листьев огурца, отмечено, что 10% экстракт биогумуса из опада листьев больше всего повлиял на высоту огурца (212,8%) и на образование листьев, так как их количество повысилось на 122%. А при



Рис. 3.23 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на высоту стебля огурца в течении 10 дней, см

поливе экстрактом биогумуса из газонной травы повышение высоты огурца произошло на 182,1%, а количество листьев на 122%.

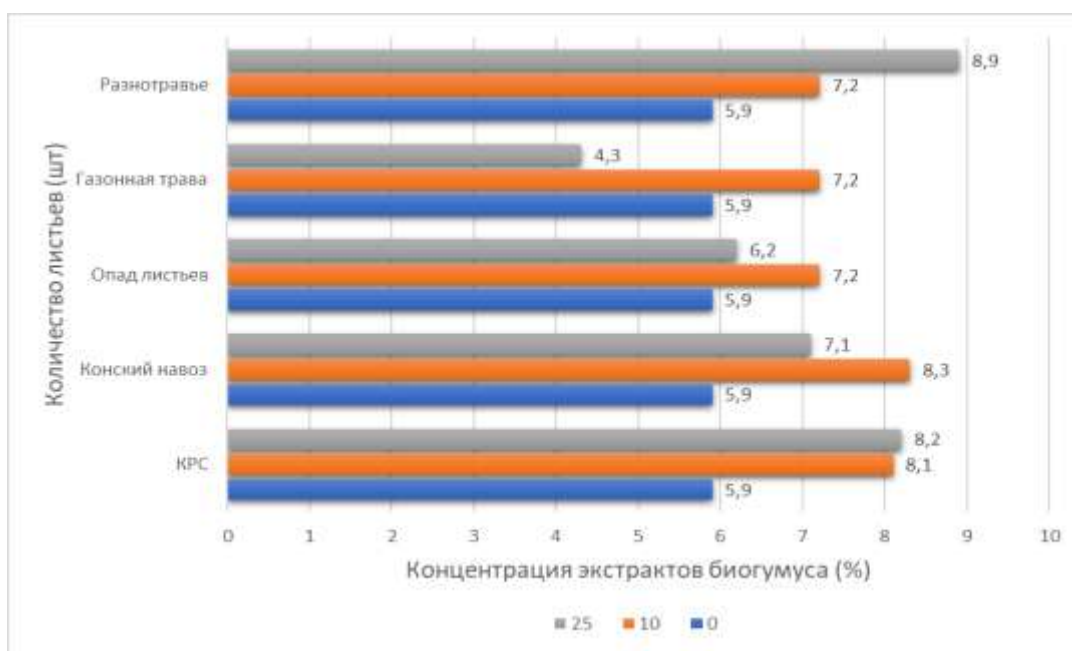


Рис. 3.24 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на количество листьев огурца в течении 10 дней, шт

В данном случае экстракт биогумуса из разнотравья оказал меньшее влияние на высоту (141,0%) чем другие экстракты биогумуса из фитомассы. Хотя экстракт биогумуса из опада листьев оказался более активным при росте площади листьев, чем экстракты биогумуса из навоза КРС и лошадей.

Таблица 3.32 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на количество листьев огурца в течении 10 дней, шт

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	5,9±1	5,9±1	5,9±1	5,9±1	5,9±1	
10%	8,1±0,1	8,3±0,3	7,2±0,15	7,2±0,4	7,2±0,15	>18,61
25%	8,2±0,2	7,1±0,1	6,2±0,15	4,3±0,4	8,9±0,17	>12,12
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,6 – 4,1			

Исследуя влияние 25% концентрации экстрактов биогумуса на высоту и количество листьев огурца, отмечено, что в этом случае интенсивнее всего был экстракт биогумуса из разнотравья, потому что высота растения увеличилась на 253,8%, а количество листьев на 150,8%. Экстракт биогумуса

из опада листьев оказал самое меньшее влияние на высоту растения (207,7%) (табл. 3.31, табл. 3.32, рис. 3.23, рис. 3.24).

При исследовании влияния концентраций различных экстрактов биогумуса на рост площади листьев огурца через 30 дней было зафиксировано, что при 10% концентрации экстракта биогумуса из навоза КРС площадь листьев увеличивается на 114,7% по сравнению с контролем, а при 25% концентрации экстракта она увеличилась на 86,1% по сравнению с контролем, в то время как высота растения и количество листьев по сравнению с контролем при 10% экстракте повышается на 1,8% и 64,1% соответственно, а при 25% экстракте на 11,2% и на 54,9% соответственно. В результате показано, что как 10%, так и 25% экстракт оказывают влияние на интенсивность увеличения площади листьев, а также идет рост количества листьев (табл. 3.33, табл. 3.34, табл. 3.35, рис. 3.25, рис. 3.26, рис. 3.27).

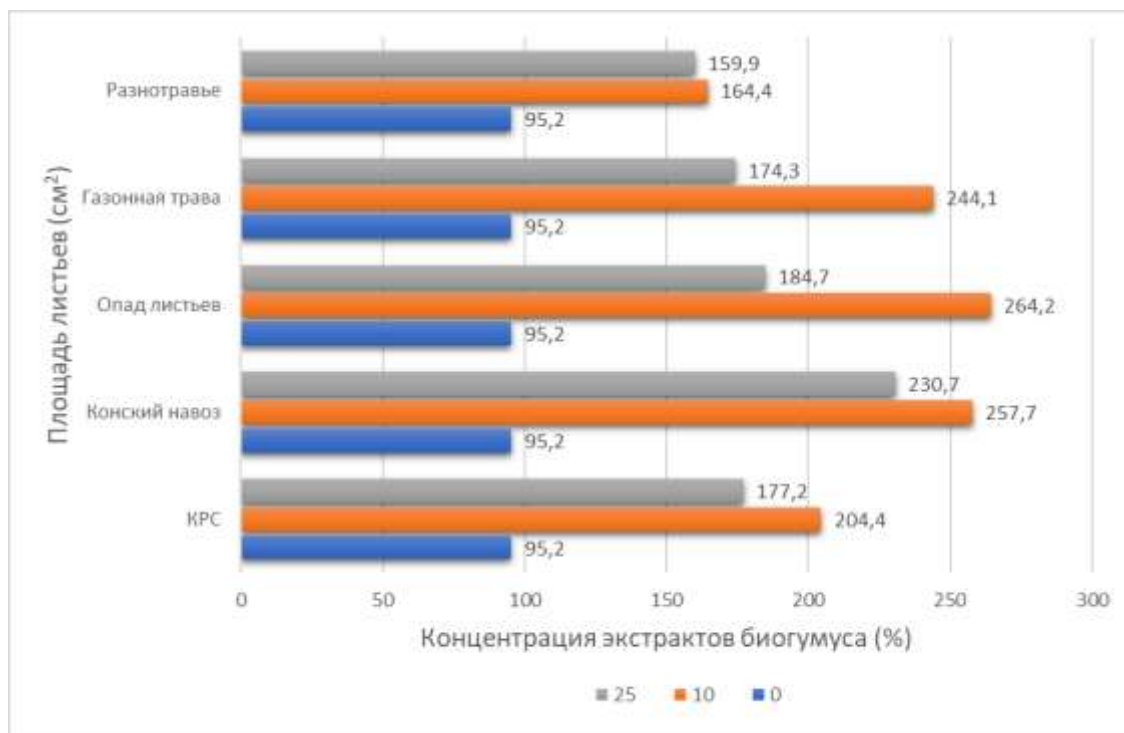


Рис. 3.25 – Влияние концентраций экстрактов биогумусов на рост площади листьев огурца в течении 30 дней, см²

Изучая влияние концентраций экстракта биогумуса из конского навоза на рост огурца в течении 30 дней, было выявлено, что 10% экстракт

биогумуса оказал большое влияние на площадь листьев, увеличивая её на 170,7% по сравнению с контролем, а при поливе 25% экстрактом на 142,3%.

Таблица 3.33 – Влияние концентраций экстрактов биогу́мусов на рост площади листьев огурца в течении 30 дней, см²

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	95,2±2,3	95,2±2,3	95,2±2,3	95,2±2,3	95,2±2,3	
10%	204,4±0,9	257,7±1,6	264,2±0,3	244,1±15,9	164,4±2,7	>18,61
25%	177,2±0,3	230,7±0,5	184,7±1,1	174,3±11,4	159,9±10,4	>12,12
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,6 – 4,1			

Рассматривая влияние экстракта на рост стебля и количество листьев, было установлено, что высота растения увеличилась почти на 71,1%, количество листьев стало больше на 56,5%. При 25% концентрации экстракта биогумуса высота томатов возросла на 66,2%, а количество листьев на 41,2%. Оказалось, что 10% экстракт оказывает большее влияние только на рост площади листьев, а 25% экстракт, наоборот, большее влияние оказывает на рост стебля в высоту и на образование количества листьев (табл. 3.33, табл. 3.34. табл. 3.35, рис. 3.25, рис. 3.26, рис. 3.27, рис. 3.28).

Исследуя влияние экстрактов биогумуса из фитомассы при дальнейшем росте огурца, было установлено, что их интенсивность роста площади листьев, высоты растения и количество образовавшихся листьев в течении 30 дней повысилась. Рассматривая влияние 10% экстракта биогумуса из опада листьев, было зарегистрировано, что эта концентрация оказывает большее влияние на площадь листьев огурца (177,5%), чем экстракт биогумуса из газонной травы (156,4%) и из разнотравья (72,2%). Отмечается, что экстракт биогумуса из разнотравья в первые 10 дней роста растения был более интенсивным (в 3,3 раза) чем в последние 20 дней. В тоже время, влияние 25% концентрации водного экстракта биогумуса из опада листьев, газонной травы и разнотравья на рост площади листьев показало, что она возросла в 1,9 раза, 1,8 раза и 1,7 раза соответственно.



Рис. 3.26 – Влияние концентрации экстрактов биогумусов (1 – контроль, 2 – конский навоз, 3 – газонная трава) на высоту рассады огурца в течении 30 дней

Рассматривая влияние экстрактов из фитомассы на высоту растения и количество листьев огурца, было отмечено, что 10% экстракт биогумуса из газонной травы больше всего повлиял на высоту огурца (5,6%) и на образование листьев, так как их количество повысилось на 68,7%. А при поливе экстрактом биогумуса из опада листьев повышение высоты огурца оказалось немного выше контрольного варианта на 2,2%, а количество листьев больше на 48,9%.

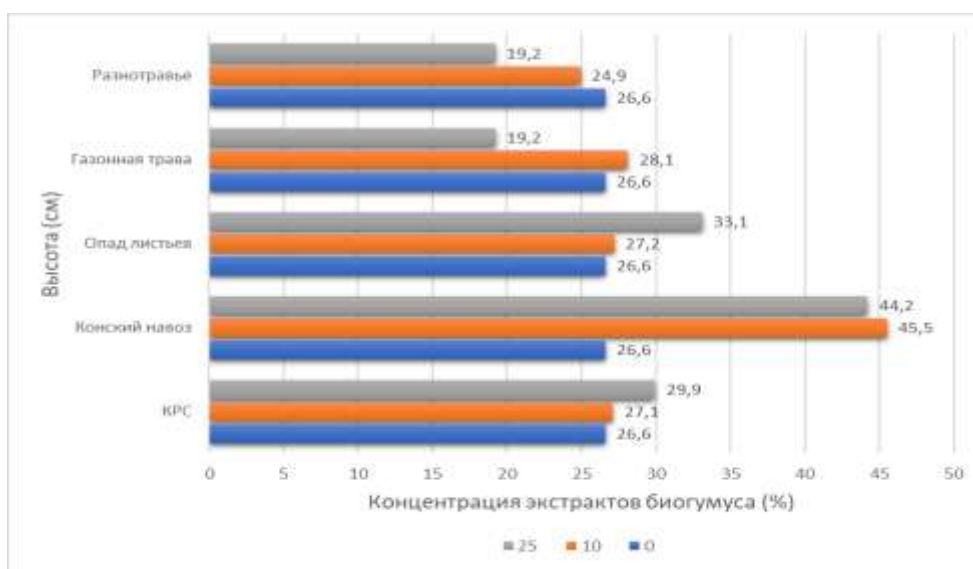


Рис. 3.27 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на высоту стебля огурца в течении 30 дней, см

Таблица 3.34 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на высоту стебля огурца в течении 30 дней, см

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	26,6±8,9	26,6±8,9	26,6±8,9	26,6±8,9	26,6±8,9	
10%	27,1±1,1	45,5±0,5	27,2±4,1	28,1±0,5	24,9±3,1	>18,61
25%	29,9±3,1	44,2±1,05	33,1±2,9	19,2±0,5	19,2±0,53	>12,12
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,6 – 4,1			

Действие экстракта биогумуса из разнотравья оказалось меньше, чем в контрольном варианте на 6,4%, а количество листьев возросло на 41,2%.

Таблица 3.35 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на количество листьев огурца в течении 30 дней, шт

	КРС	Конский навоз	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье	t
0%	13,1±1,7	13,1±1,7	13,1±1,7	13,1±1,7	13,1±1,7	
10%	21,5±0,5	20,5±1,5	19,5±0,5	22,1±0,53	18,5±3,5	>18,61
25%	20,3±1,1	18,5±1,5	15,2±2,03	17,2±4,2	16,2±0,53	>12,12
Критерий F = >45,52			НСР _{0,5} 1,6 – 4,1			

Отмечается, что экстракты биогумуса из фитомассы на взрослых растениях становятся менее активными при росте площади листьев и их количестве, чем экстракты биогумуса из навоза КРС и лошадей.

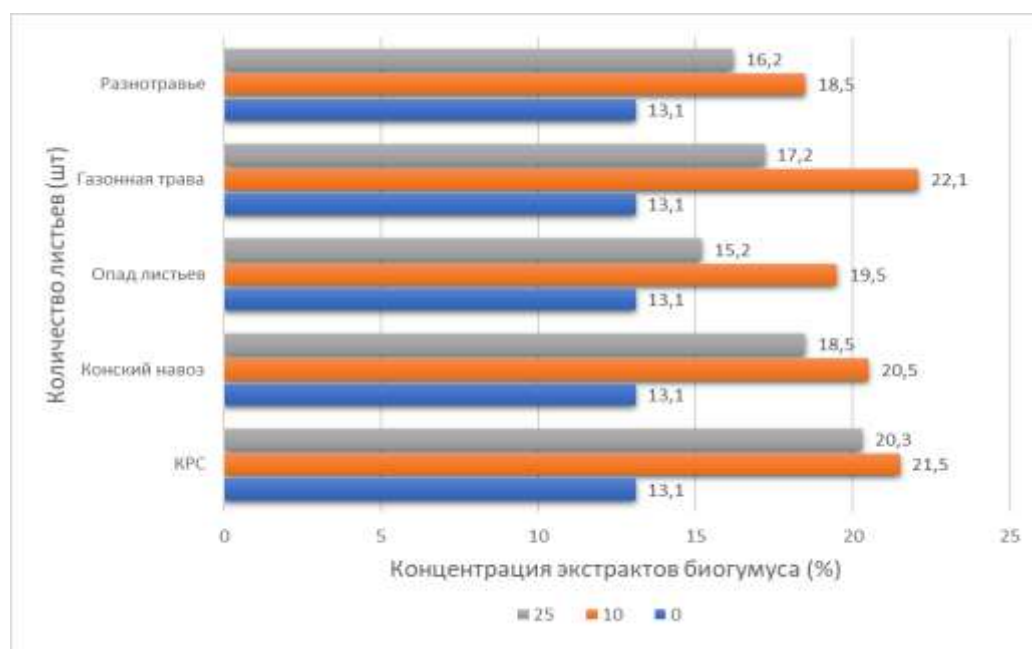


Рис. 3.28 – Влияние концентраций экстрактов биогумуса на количество листьев огурца в течении 30 дней, шт

Исследуя влияние 25% концентрации экстрактов биогумуса на высоту и количество листьев огурца, обнаружено, что в этом случае интенсивнее всего оказался экстракт биогумуса из опада листьев, так как высота стебля увеличилась на 24,4%, а интенсивность образования количества листьев понизилась до 16%. Экстракт биогумуса из газонной травы и разнотравья оказался ниже, чем в контроле на 27,8%, хотя образование количества листьев было выше, чем при влиянии других экстрактов из фитомассы (табл. 3.33, табл. 3.34, табл. 3.35, рис. 3.25, рис. 3.27, рис. 3.28).

Многие тепличные эксперименты показывают, что биогумусы и экстракты биогумуса могут оказывать постоянное положительное влияние на всхожесть и рост растений. Исследования в лабораторных условиях показали последовательное ускорение прорастания овощных культур при использовании экстрактов биогумуса из навоза КРС, лошадей, газонной травы, опада листьев и разнотравья. Применение биогумуса и экстрактов с высокой концентрацией первоначально может подавлять прорастание семян, но впоследствии еженедельное применение разбавленных экстрактов улучшает рост растений. При более высокой скорости внесения биогумуса

или экстрактов биогумуса происходит торможение роста как томатов, так и огурцов, а это можно объяснить более высоким содержанием солей и избыточным содержанием питательных веществ. Увеличение площади листьев и значительное увеличение высоты растений отмечалось в комбинациях 10% и 25% экстрактов биогумуса. Возможно, что большие плотности популяции микробов в экстрактах биогумусов и очень значительное увеличение численности микробных популяций и активности в почвах, обработанных биогумусами, могли косвенно повлиять на рост растений. Микробная активность в почвах была предложена многими авторами как ответственная за улучшение структуры почвы и косвенное влияние на корневую среду и рост растений. Побочные продукты микробной деятельности могут включать полисахариды, которые непосредственно участвуют в агрегации частиц почвы, что также может оказывать некоторое влияние на рост растений. Возможно, что присутствие регуляторов роста растений в используемых экстрактах биогумуса способствовало увеличению роста площади и количества листьев томатов и огурцов. Также возможно, что гуминовые кислоты в экстрактах биогумуса, использованных в эксперименте, тоже могли оказать прямое положительное влияние на рост томатов и огурцов. Возможно, что гуминовые кислоты, образующиеся в биогумусах, использованных в наших экспериментах, могли также увеличить рост площади и количества листьев, а также высоту стебля томатов и огурцов.

Известно, что гуминовые кислоты значительно увеличивают рост растений томатов и огурцов, независимо от наличия питательных веществ, напрямую коррелируя с максимальной концентрацией гуминовых кислот. Atiyeh et al, (2001) и Arancon et al, (2003a) пришли к выводу, что реакции роста были обусловлены либо способностью гуминовых кислот оказывать гормоноподобное воздействие на рост растений, либо тем, что гуминовые кислоты могут оказывать влияние на рост растений, адсорбируя на них

регуляторы. Их гипотеза была подтверждена исследованием Canellas et al, (2000) они идентифицировали ауксиновые группы, включенные в гуминовые кислоты, которые были извлечены из биогумуса навоза крупного рогатого скота.

Вещества, регулирующие рост растений, такие как растительные гормоны, являются другими известными продуктами микробной активности. Бактерии, грибы, дрожжи, актиномицеты и водоросли способны продуцировать растительные гормоны или вещества, регулирующие рост растений, такие как ауксины, гиббереллины, цитокинины, этилен и абсцизовая кислота в значительных количествах (Arshad, Frankenberger, 1993). Многие микроорганизмы, распространенные в ризосферах растений, могут вырабатывать такие вещества, которые регулируют рост растений. Например, Barea et al, (1976) сообщили, что из 50 изолятов бактерий, полученных из ризосферы различных растений, 86% могут продуцировать ауксины, 58% гиббереллины и 90% кинетиноподобные вещества, которые, как сообщалось, непосредственно влияют на рост растений.

В настоящее время существует много исследований о влиянии биогумусов на основе сельскохозяйственных отходов. Например, Edwards, Burrows (1988) сообщили, что вермикомпосты увеличивают появление декоративных саженцев по сравнению с контрольными коммерческими питательными средами для выращивания растений они использовали широкий спектр растений, таких как салат, помидоры, огурцы. Buckerfield et al, (1999) сообщил, что применение вермикомпоста первоначально подавляло прорастание, но впоследствии еженедельное применение разбавленных экстрактов улучшало рост растений и значительно увеличивало урожайность редиса до 20%. Сообщалось, что рост томатов и огурцов лучше всего происходит при внесении в почву биогумуса с использованием различных вермикомпостов (Wilson, Carlile, 1989). Subler. S. (1998) сообщил об увеличении роста растений в коммерческих средах MetroMix 360 (MM360) с

диапазоном вермикомпостов. В экспериментах Subler, (1998) увеличение содержания хлорофилла в ответ на вермикомпосты наблюдалось на ранних стадиях роста. Позже сообщалось об увеличении площади листьев и значительном увеличении общей массы растений в комбинациях 10% вермикомпоста. Также сообщалось о значительном увеличении массы проростков томатов после замены 10 % и 20% вермикомпоста. Есть сведения о сходных тенденциях в прорастании томатов и перцев, выращенных в биогумусах, смешанных с торфяно-песчаной посадочной средой. Chan, Griffiths, (1988) сообщили о стимулирующем влиянии вермикомпостов из свиного навоза на рост соевых бобов (*Glycine max*), особенно с точки зрения увеличения длины корней, числа боковых корней и длины междоузлий проростков. Черенки черного перца, выращенные в биогумусах, были значительно выше и имели больше листьев, чем черенки, выращенные в коммерческих горшечных смесях. Высота растений, количество ветвей и самые длинные стержневые корни были на гвоздике, выращенной в биогумусных смесях. Vadiraj et al, (1998) сообщили об усилении роста и выхода сухого вещества проростков кардамона (*Electtaria cardamomum*) в биогумусной лесной подстилке по сравнению с другими испытанными питательными средами. Atiyeh et al, (2001) продемонстрировали в своей работе, что вермикомпост, полученный из свиного навоза в диапазоне концентраций увеличивал рост овощных и декоративных саженцев даже при низких концентрациях, когда все питательные вещества, необходимые культурам были доступны. Однако небольшой процент биогумуса, внесенный в почву, не всегда улучшал рост растений, возможно, из-за содержания соли или других факторов.

Таким образом, использование органических веществ, таких как навоз животных, пищевые отходы, осадок сточных вод, уже давно признаны в сельском хозяйстве полезными для роста и урожайности растений и поддержания плодородия почвы. Биогумус как новый подход к

использованию органических удобрений в сельском хозяйстве зарекомендовал себя как эффективное средство улучшения структуры почвы, повышения плодородия почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Биогумус и экстракты биогумуса могут увеличить рост площади листьев, количество листьев, высоту стеблей, корней, цветение и урожайность овощных культур даже в небольших количествах. Воздействие экстрактов биогумуса на растения объясняется не только качеством предоставляемого минерального питания, но и другими его компонентами, регулирующими рост, такими как гормоны роста растений и гуминовые кислоты. Кроме того, применение экстрактов биогумуса в полевых условиях улучшает качество почв за счет увеличения микробной активности и микробной биомассы, которые являются ключевыми компонентами круговорота питательных веществ, производства регуляторов роста растений и защиты растений от болезней, переносимых почвой, и атак членистоногих вредителей.

Экстракты, полученные из биогумуса, содержат ценные питательные вещества, способствующие росту растений. Субстраты, которые использовались при производстве этих жидкостей, в основном представляют собой отходы животноводства и сельского хозяйства. При описании этих жидкостей используются разные термины, поскольку существуют некоторые различия в приготовлении. Однако споры все еще существуют, поскольку эти экстракты производятся из различных отходов. Вероятность переноса вредных веществ из субстрата в жидкости до сих пор неизвестны. Поэтому необходимы дальнейшие исследования, особенно метода приготовления экстрактов, а также взаимосвязи между субстратами и экстрактами, полученными из биогумуса.

Обработка семян и растений экстрактами биогумуса из субстрата навоза КРС и лошадей оказывает стимулирующее воздействие на прорастание семян

и рост рассады как томатов, так и огурцов. Это говорит о том, что экстракты из биогумуса можно использовать для ускорения прорастания семян овощей и ускорения развития рассады. Большое количество питательных веществ в экстрактах из биогумуса на основе листового опада способствует линейному увеличению всхожести и роста томата и огурца. Экстракты биогумуса из чистых субстратов газонной травы и разнотравья были получены впервые, и поэтому свойства их до конца пока неизвестны. Исследуя эти экстракты, были получены результаты, которые подтвердили, что низкие их концентрации могут оказывать умеренное воздействие на рост площади листьев, высоту стебля и количество листьев томатов и огурцов по сравнению с экстрактами из навоза КРС и лошадей. Влияние этих концентраций, в зависимости от времени действия на растения и конечные урожаи томатов и огурцов могут оказывать стимулирующие, фунгицидные и пестицидные воздействия, которые требуют дальнейшего изучения.

3.6 Влияние экстрактов биогумуса, полученных из сельскохозяйственных отходов и городской фитомассы на подавление популяций двупятнистого паутинного клеща (*Tetranychus urticae*) на огурцах

Эксперименты с паутинным клещом проводились в частных теплицах в окрестностях г. Тюмени. Огурцы сорта «Конкурент» были посеяны и выращены в опытном тепличном контейнере на почве, которую регулярно поливали экстрактом биогумуса с различными концентрациями (10%, 25%) на основе конского и КРС навозов, опада листьев (в основном березовых), газонной травы и разнотравья. В контрольном варианте для полива использовалась чистая вода с той же частотой полива. В каждом эксперименте проверяли влияние различных концентраций экстрактов биогумусов на одном членистоногом вредителе – двупятнистом паутинном клеще (*Tetranychus urticae*).

30 семян огурца были посеяны на отдельный участок, содержащий одну и ту же почвенную смесь. Первый участок был удален от второго на 6 метров. На первом участке было выделено 6 групп растений, 5 из которых поливались различными экстрактами, а 1 чистой водой. Рассадку прореживали до 12 растений через 7 дней после посева. Каждая группа состояла из 2 растений. Одно растение поливали 10% экстрактом, а второе – 25%. Полив проводился одновременно как почвы, так и растения. На втором контрольном участке выращивали только одну группу, состоящую из 2 растений, которая поливалась только чистой водой. Все растения могли подвергаться одинаковому воздействию вредителя – двупятнистого паутинного клеща (*Teranychus urticae*). Проверку эффективности экстрактов биогумусов на паутинного клеща проводили в начале на 2 и 4 день, а затем через 7 дней. Эксперимент проводили в течении 2 месяцев.

В течении проводимых исследований было обнаружено, что водный экстракт биогумуса может в некоторой степени повлиять на эффективность процесса зараженности растения популяцией двупятнистого паутинного клеща (*Tetranychus urticae*). Эффективность экстракта биогумуса определяется использованием различных концентраций, как упоминалось выше.

При исследовании растений огурца через 2 дня на 5 группах эксперимента, которые были политы 10% и 25% экстрактом биогумуса, зараженность паутинными клещами не была отмечена. На 6 контрольной группе растений также не было клещей. В то время как на контрольном участке, удаленном на 6 метров от основной группы, на некоторых листьях отмечено появление отдельных экземпляров паутинных клещей (0,05 клеща/см² площади листа).

Таблица 3.36 – Влияние 10% экстрактов биогумуса на плотность популяции двупятнистого паутинного клеща *Tetranychus urticae*, клеща/см²

№	Дни	Чистая вода		Экстракт биогумуса, 10%				
		Контроль 1	Контроль 2	Навоз КРС	Навоз лошадей	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье
1	2	0,05±0,008	0	0	0	0	0	0
2	4	0,37±0,03	0	0	0	0	0	0
3	7	2,75±0,1	0,07±0,009	0	0	0	0	0
4	14	7,43±0,2	2,14±0,15	0,73±0,07	0,71±0,03	0,54±0,05	0,32±0,03	0,21±0,03
5	21	9,76±0,09	5,34±0,2	0,91±0,07	0,87±0,05	0,63±0,04	0,37±0,04	0,26±0,04
6	28	13,08±1,4	6,53±1,2	0,93±0,06	0,88±0,06	0,64±0,05	0,38±0,04	0,28±0,04
7	35	14,78±0,8	8,25±0,08	0,91±0,03	0,87±0,07	0,62±0,06	0,39±0,05	0,27±0,03
8	42	5,18±0,4	3,37±0,09	0,42±0,03	0,41±0,04	0,3±0,04	0,23±0,03	0,19±0,03
9	49	11,29±0,4	2,16±0,07	0,42±0,03	0,40±0,02	0,28±0,04	0,21±0,03	0,17±0,03
10	56	1,12±0,08	3,27±0,1	0,54±0,06	0,51±0,08	0,27±0,04	0,19±0,03	0,15±0,03

При изучении растений огурца через 4 дня на 5 группах, политых 10% и 25% экстрактом биогумуса, на листьях не было обнаружено паутинных клещей. На 6 контрольной группе растений также не было клещей. Исследования контрольного участка, удаленного на 6 метров от основной группы, показали, что на некоторых листьях начался процесс размножения паутинного клеща, так как плотность популяции на этих растениях повысилась до 0,37 клеща/см² (табл. 3.36, рис. 3.29).

При исследовании растений огурца через 7 дней на 5 группах политых, 10% и 25% экстрактами биогумуса, на листьях не обнаружены паутинные клещи. В тоже время на 6 контрольной группе, которую поливали чистой водой, обнаружены паутинные клещи с плотностью популяции 0,07 клеща/см². Проверка удаленного контрольного участка показала, что на листьях идет активный рост популяции паутинного клеща, так как его

плотность популяции на листьях огурца увеличилась до 2,75 клеща/см² (табл. 3.36, табл. 3.37).

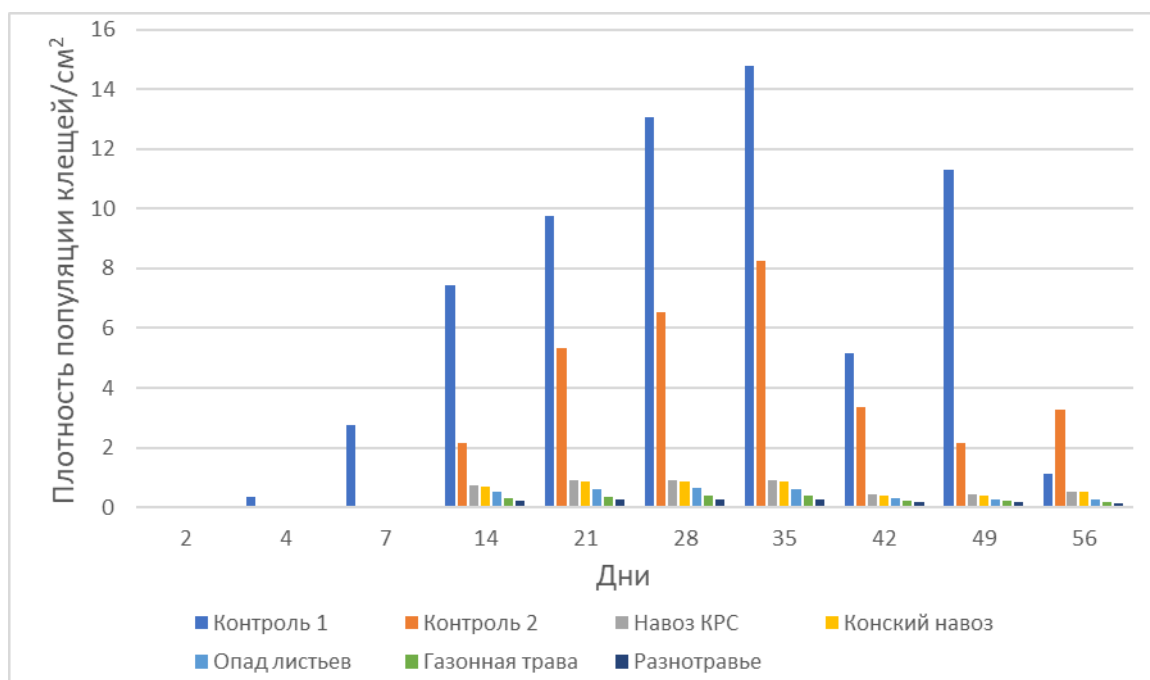


Рис. 3.29 – Влияние 10% экстрактов биогумуса на плотность популяции двупятнистого паутинного клеща *Tetranychus urticae*, клеща/см²

Проводя анализ исследования растений огурца, через 14 дней на 5 группах политых 10% и 25% экстрактом биогумуса, на листьях всех групп была обнаружена небольшая плотность популяции паутинных клещей. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумуса из субстрата навоза КРС и лошадей, выявлена плотность популяции 0,73 и 0,71 клеща/см² соответственно. На листьях, политых 25% экстрактом биогумуса, обнаружено 0,67 и 0,62 клеща/см².

Таблица 3.37 – Влияние 25% экстрактов биогумуса на плотность популяции двупятнистого паутиного клеща *Tetranychus urticae*, клеща/см²

№	Дни	Чистая вода		Экстракт биогумуса, 25%				
		Контроль 1	Контроль 2	Навоз КРС	Навоз лошадей	Опад листьев	Газонная трава	Разнотравье
1	2	0,05±0,008	0	0	0	0	0	0
2	4	0,37±0,03	0	0	0	0	0	0
3	7	2,75±0,1	0,07±0,009	0	0	0	0	0
4	14	7,43±0,2	2,14±0,15	0,67±0,04	0,62±0,03	0,49±0,04	0,27±0,03	0,17±0,05
5	21	9,76±0,09	5,34±0,2	0,85±0,04	0,81±0,05	0,59±0,05	0,31±0,03	0,21±0,06
6	28	13,08±1,4	6,53±1,2	0,86±0,04	0,83±0,06	0,6±0,07	0,33±0,05	0,22±0,06
7	35	14,78±0,8	8,25±0,08	0,85±0,05	0,82±0,1	0,59±0,05	0,34±0,05	0,23±0,03
8	42	5,18±0,4	3,37±0,09	0,38±0,04	0,37±0,04	0,27±0,04	0,2±0,06	0,17±0,06
9	49	11,29±0,4	2,16±0,07	0,37±0,03	0,37±0,05	0,24±0,03	0,18±0,06	0,15±0,05
10	56	1,12±0,08	3,27±0,1	0,51±0,06	0,48±0,04	0,22±0,05	0,17±0,04	0,4±0,05

Изучая действие экстрактов биогумуса из субстратов фитомассы, таких как опад листьев, газонная трава и разнотравье, были найдены паутиновые клещи на листьях, политых 10% экстрактом биогумусов из субстрата опада листьев 0,54 клеща/см², на листьях, политых 25% экстрактом 0,49 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактом из субстрата газонной травы 0,32 и 0,27 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактов из субстрата разнотравья 0,21 и 0,17 клеща/см².

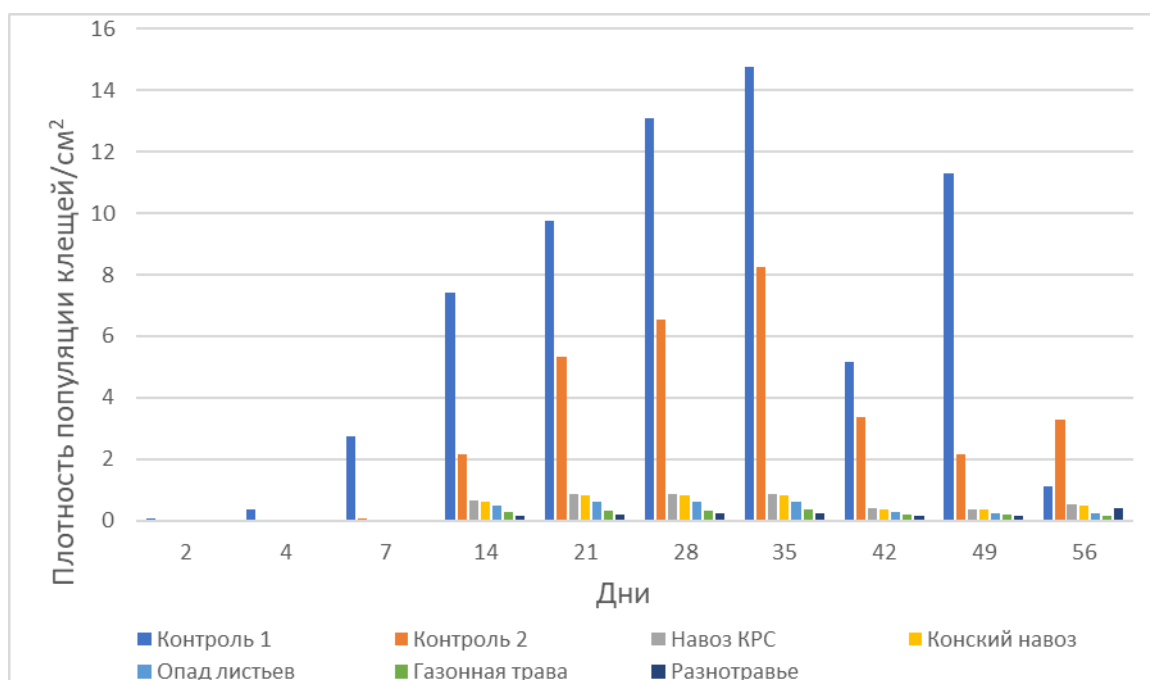


Рис. 3.30 – Влияние 25% экстрактов биогумуса на плотность популяции двупятнистого паутинного клеща *Tetranychus urticae*, клеща/см²

Просматривая и анализируя 6 контрольную группу растений, не обрабатываемую экстрактом биогумуса, установлено, что плотность популяции паутинных клещей на листьях огурца повысилась до 2,14 клеща/см². Исследование удаленного контрольного участка дало следующие результаты: на листьях продолжается активный рост популяции паутинного клеща, так как его плотность популяции увеличилась до 7,43 клеща/см² (табл. 3.36, табл. 3.37, рис. 3.29, рис. 3.30).

Анализируя исследования растений огурца, через 21 день на 5 группах, политых 10% и 25% экстрактом биогумуса, на листьях всех групп продолжала расти плотность популяции паутинных клещей. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумуса из субстрата навоза КРС и лошадей, выявлена плотность популяции 0,91 и 0,87 клеща/см² соответственно, на листьях, политых 25% экстрактом биогумуса 0,85 и 0,81 клеща/см². Изучая действие экстрактов биогумуса из субстратов фитомассы опада листьев, газонной травы и разнотравья, было отмечено, что плотность популяции паутинных клещей продолжает медленно повышаться. Так, на листьях,

политых 10% экстрактом биогумусов из субстрата опада листьев 0,63 клеща/см², на листьях, политых 25% экстрактом 0,59 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактом из субстрата газонной травы 0,37 и 0,31 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактов из субстрата разнотравья 0,26 и 0,21 клеща/см². Анализ 6 контрольной группы растений, которая не обрабатывалась экстрактом биогумуса, показал, что плотность популяции паутинных клещей на листьях огурца повысилась до 5,34 клеща/см². Изучение удаленного контрольного участка дало следующие показатели: на листьях продолжается активный рост плотности популяции паутинового клеща и плотность популяции паутинных клещей увеличилась до 9,76 клеща/см² (табл. 3.36, табл. 3.37, рис. 3.29, рис. 3.30).

Исследования растений огурца через 28 дней на 5 группах, политых 10% и 25% экстрактом биогумуса на листьях всех групп произошла стабилизация роста плотности популяции паутинных клещей. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумуса из субстрата навоза КРС и лошадей, выявлена плотность популяции 0,93 и 0,88 клеща/см² соответственно, на листьях, политых 25% экстрактом биогумуса обнаружено 0,86 и 0,83 клеща/см². Изучая действие экстрактов биогумуса из субстратов фитомассы, было замечено, что плотность популяции паутинных клещей начинает стремиться к полной остановке. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумусов из субстрата опада листьев плотность популяции клещей 0,64 клеща/см², на листьях, политых 25% экстрактом 0,6 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактом из субстрата газонной травы 0,38 и 0,33 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактов из субстрата разнотравья 0,28 и 0,22 клеща/см². Анализ 6 контрольной группы растений, которая не обрабатывалась экстрактом биогумуса, обнаружил, что плотность популяции паутинных клещей на листьях огурца повысилась до 6,53 клеща/см². Изучение удаленного контрольного участка показало, что на листьях продолжается активный рост плотности популяции паутинового клеща и

произошло увеличение плотности популяции паутиных клещей на 34% (табл. 3.36, табл. 3.37, рис. 3.29, рис. 3.30).

При рассмотрении растений огурца через 35 дней на 5 группах, политых 10% и 25% экстрактом биогумуса на листьях всех групп в росте плотности популяции паутиных клещей больших изменений не произошло. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумуса из субстрата навоза КРС и лошадей выявлена плотность популяции 0,91 и 0,87 клеща/см² соответственно, на листьях, политых 25% экстрактом биогумуса, обнаружено 0,85 и 0,82 клеща/см². Изучая действие экстрактов биогумуса из субстратов фитомассы, было отмечено, что плотность популяции паутиных клещей начинает стремиться к стабилизации. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумусов из субстрата опада листьев плотность популяции клещей 0,62 клеща/см², на листьях, политых 25% экстрактом 0,59 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактом из субстрата газонной травы 0,39 и 0,34 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактов из субстрата разнотравья 0,27 и 0,23 клеща/см². Анализ 6 контрольной группы растений, которая не обрабатывалась экстрактом биогумуса, обнаружил, что плотность популяции паутиных клещей на листьях огурца повысилась до 8,25 клеща/см². Изучение удаленного контрольного участка показало, что на листьях продолжается активный рост плотности популяции паутинового клеща и увеличение плотности популяции паутиных клещей достигло максимума 14,78 клещей/см² (табл. 3.36, табл. 3.37, рис. 3.29, рис. 3.30).

Анализируя исследования растений огурца через 42 дня на 5 группах, политых 10% и 25% экстрактом биогумуса на листьях всех групп, больших изменений в сторону увеличения плотности популяции паутиных клещей не происходило, а наоборот, плотность популяции начала падать. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумуса из субстрата навоза КРС и лошадей, выявлена плотность популяции 0,43 и 0,41 клеща/см² соответственно, на листьях, политых 25% экстрактом биогумуса, обнаружено

0,38 и 0,37 клеща/см². Исследуя действие экстрактов биогумуса из субстратов фитомассы, было замечено, что плотность популяции паутиных клещей начинает стремительно падать. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумусов из субстрата опада листьев плотность популяции клещей 0,30 клеща/см², на листьях, политых 25% экстрактом 0,27 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактом из субстрата газонной травы 0,23 и 0,2 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактов из субстрата разнотравья 0,19 и 0,17 клеща/см². Анализ 6 контрольной группы растений, которые не обрабатывались экстрактом биогумуса, обнаружили, что плотность популяции паутиных клещей на листьях огурца также понизилась до 3,37 клеща/см². Изучение удаленного контрольного участка показало, что на листьях продолжает идти активный рост плотности популяции паутинового клеща и произошло понижение плотности популяции паутиных клещей до 5,18 клещей/см² (табл. 3.36, табл. 3.37, рис. 3.29, рис. 3.30).

Подвергая анализу исследования растений огурца через 49 дней на 5 группах, политых 10% и 25% экстрактом биогумуса на листьях огурца всех групп больших изменений в сторону увеличения плотности популяции паутиных клещей не происходило, а наоборот, плотность популяции как бы приостановилась. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумуса из субстрата навоза КРС и лошадей, выявлена плотность популяции 0,42 и 0,40 клеща/см² соответственно, на листьях, политых 25% экстрактом биогумуса, обнаружено 0,37 и 0,37 клеща/см². Изучая действие экстрактов биогумуса из субстратов фитомассы, было показано, что падение плотности популяции паутиных клещей начинает замедляться. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумусов из субстрата опада листьев плотность популяции клещей составила 0,28 клеща/см², на листьях, политых 25% экстрактом 0,24 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактом из субстрата газонной травы 0,21 и 0,18 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактов из

субстрата разнотравья 0,17 и 0,15 клеща/см². Исследование 6 контрольной группы растений, которые не обрабатывали экстрактом биогумуса, дали следующие данные: плотность популяции паутиных клещей на листьях огурца понизились до 2,16 клеща/см². Изучение удаленного контрольного участка показало, что на листьях продолжается активный рост плотности популяции паутинового клеща. Так, на листьях огурца произошло повышение плотности популяции паутиных клещей до 11,29 клещей/см² (табл. 3.36, табл. 3.37, рис. 3.29, рис. 3.30). Повышение плотности популяции паутиных клещей на контрольном участке, вероятно, связано с активным развитием второго и третьего поколений.

Рассматриваемые результаты исследования растений огурца через 56 дней на 5 группах, политых 10% и 25% экстрактом биогумуса на листьях огурца всех групп больших изменений в сторону увеличения плотности популяции паутиных клещей не происходило, но все-таки небольшое возрастание численности было отмечено. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумуса из субстрата навоза КРС и лошадей, выявлена плотность популяции 0,54 и 0,51 клеща/см² соответственно, на листьях, политых 25% экстрактом биогумуса, обнаружено 0,51 и 0,48 клеща/см². Изучая действие экстрактов биогумуса из субстратов фитомассы, было отмечено, что падение плотности популяции паутиных клещей незначительное. Так, на листьях, политых 10% экстрактом биогумусов из субстрата опада листьев плотность популяции клещей составила 0,27 клеща/см², на листьях, политых 25% экстрактом 0,22 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактом из субстрата газонной травы 0,19 и 0,17 клеща/см², на листьях, политых 10% и 25% экстрактов из субстрата разнотравья 0,15 и 0,14 клеща/см². Исследование 6 контрольной группы растений, которые не обрабатывали экстрактом биогумуса, дали следующие данные: плотность популяции паутиных клещей на листьях огурца повысилась до 3,27 клеща/см². Изучение удаленного контрольного участка

показало, что на листьях огурца произошел резкий спад активности роста плотности популяции паутиного клеща, т.е. на листьях оказалась небольшая плотность популяции паутиных клещей 1,12 клещей/см² (табл. 3.36, табл. 3.37, рис. 3.29, рис. 3.30). Резкий спад плотности популяции паутиных клещей на контрольном участке произошел в связи с тем, что при высокой плотности популяции *T. urticae* происходило снижение фотосинтетической активности и транспирации листьев (Mondal, Ara, 2006), из-за чего листья увядали, происходила дефолиация и растения начинали погибать (Sadana, Chhabra, 1981), соответственно, численность при этом начала резко падать.

Это предварительное исследование открывает новые возможности использования биогумуса с хорошими результатами в качестве биопестицида в теплицах для овощных культур против двупятнистого паутиного клеща (*Tetranychus urticae*). Кроме того, это исследование является основой для дальнейших исследований, касающихся действия экстракта биогумуса в качестве биоинсектицида. Особенностью биоинсектицидов является то, что они оказывают действие медленнее, чем традиционная химическая обработка.

В этом разделе главы представлены результаты общего понимания прогресса и поощрения применения биопестицидов из биогумуса растительного происхождения для борьбы с паутиным клещом в тепличных условиях, которые особенно уязвимы для нападения вредителей. Результаты показали, что переработанные дождевыми червями фитомассы могут оказывать значительное влияние на интенсивность вредителей и урожайность различных культур. Эффективность конкурирующих растительных препаратов для борьбы с целевыми вредителями в большинстве случаев значительно отличалась по сравнению с не обработанным контролем, который не получал никаких мер защиты растений и был поврежден больше всего на исследуемом участке. Многие ученые разрабатывают недорогие способы изготовления собственных спреев,

экстрактов или натуральных инсектицидов из местных растений, которые оказались очень эффективными для борьбы с некоторыми насекомыми – вредителями (Iqbal et al., 2011; Sarwar, 2013). Из настоящего исследования можно сделать вывод, что применение натурального продукта – экстракта биогумуса из фитомассы на посевах огурца уменьшает влияние популяции двупятнистого паутинного клеща. Подобно текущим выводам, некоторые более ранние исследователи указывали на возможный синергетический эффект *E. fetida* и различных микроорганизмов в порошкообразном биогумусе и водных экстрактах биогумуса.

В этих экспериментах мы сосредоточились на огурцах, потому что они являются ценными тепличными культурами, которые очень восприимчивы к целому ряду листовых вредителей, борьба с которыми обходится дорого. Вредителем, которого тестировали в наших экспериментах с водным экстрактом биогумуса, чтобы оценить влияние экстрактов на подавление вредителя, был двупятнистый паутинный клещ, который является важным вредителем этой культуры, и степень подавления этого вредителя водными экстрактами была впечатляющей. Наличие таких инновационных мер органического контроля, как водные экстракты биогумуса, было бы особенно полезно производителям органических продуктов, которым запрещено использовать неорганические пестициды на своих культурах. Биогумусообразование – это процесс, который может быть осуществлен в различных масштабах с использованием относительно простых и высоких технологий (Edwards, Arancon, 2004b), и в продаже имеется множество относительно недорогого оборудования для приготовления экстракта биогумуса.

Данные, представленные в исследовании, являются первыми данными о подавлении важнейших сосущих вредителей, таких как паутинные клещи, водными экстрактами из биогумусов, которые получены из субстратов газонной травы, разнотравья и опада листьев. Общее воздействие водных

растворов биогумуса как на численность, так и на ущерб, наносимый этим вредителем, было значительным, значимым и последовательным на многих культурах. Очевидно, что ежедневное или еженедельное внесение этих водных экстрактов на огурцы в качестве полива растений и почвы имеет три основных эффекта. Во-первых, поскольку этот вредитель, протестированный в экспериментах, имел свободный выбор для заражения тестируемого растения. Похоже, что применение всех норм внесения водных экстрактов сделало растения огурцов гораздо менее привлекательным для *Tetranychus urticae*. Самая высокая норма применения 25%-ного водного экстракта на много сильнее останавливает зараженность вредителем, а 10%-ный экстракт оказал существенное влияние на степень заражения. Есть вероятность, что концентрация может быть уменьшена, и она также будет делать экстракты эффективными в плане относительной непривлекательности растений для вредителей.

Еженедельное внесение экстракта биогумуса в почву, в которой росли растения, должно было также повлиять на характер размножения двупятнистых паутинных клещей, поскольку увеличение скорости внесения водных экстрактов, вероятно, снизило темпы размножения вредителей, потому что численность паутинного клеща повышается очень медленно или стабилизируется, особенно в ответ на более высокие нормы внесения экстрактов. Наконец, имеются убедительные доказательства того, что более высокие нормы внесения экстрактов биогумуса приводили к тому, что вредители либо покидали растения, либо погибали, поскольку общее количество вредителей на посевах значительно уменьшалось со временем в ответ на эти более высокие нормы внесения.

Эти результаты поднимают вопрос о возможных механизмах того, как эти вносимые на растения и почвы экстракты биогумуса могут повлиять на реакцию вредителей при попадании в растения. В научных источниках есть много сообщений о том, что органические источники питательных веществ

уменьшают численность членистоногих вредителей (Culliney, Pimentel, 1986; Eigenbrode, Pimentel, 1988; Yardim, Edwards, 2003; Patriquin et al., 1995; Morales et al., 2001; Phelan, 2004). Также высказываются предположения о том, что эти эффекты обусловлены поглощением растениями фенолов из органических удобрений (Ravi et al., 2006). Однако, хотя такие механизмы могут объяснить подавление атак вредителей твердыми биогумусами, они вряд ли объясняют аналогичное подавление жидкими экстрактами из биогумусов, наносимых на растения и почву, в которой произрастают культуры. Хотя многие элементы могут легко переходить из твердых биогумусов в водные экстракты, включая растворимые питательные вещества, свободные ферменты, широкий спектр микроорганизмов и водорастворимые фенолы.

Думаем, что уменьшение численности данных вредителей и повреждение растений, выращенных с использованием водных экстрактов биогумуса в тепличных экспериментах, может быть связано с присутствием водорастворимых фенольных соединений в растениях, выращенных с использованием водных экстрактов биогумуса, которые делают растения менее привлекательными для вредителей и препятствуют их размножению. Хотя эти выводы пока основаны на косвенных доказательствах, широта и весомость доказательств делают чрезвычайно вероятным, что водорастворимые фенолы, переходящие из биогумуса в водные экстракты, а затем в растения, могут быть основным механизмом, с помощью которого водные экстракты биогумуса влияют на подавление питания вредителей, размножение и смертность паутиных клещей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены новые данные по состоянию популяций *E. fetida*, интенсивности размножения и накопления биомассы, свойства, характер и количество биогумуса, а также по характеру действия экстрактов биогумуса на стимулирование роста и развития растений, повышении устойчивости иммунной системы и определении защитных свойств его от вредителей. Это позволило сформулировать следующие выводы.

1. Вермикомпостирование готовых субстратов, полученных различными технологическими приёмами с использованием экстракта биогумуса из сельскохозяйственных отходов, оказывает положительный эффект на рост плотности популяции *E. fetida* и качественную переработку субстратов из сельскохозяйственных отходов и фитомассы растений.

2. Установлено, что примерно 60% молодых особей *E. fetida* к концу второй недели начинают откладывать первые коконы, которые в субстрате из навоза КРС имеют продуктивность $0,9 \pm 0,1$ детенышей на 1 кокон, а в субстрате из навоза лошадей $0,85 \pm 0,1$ детенышей на 1 кокон, т.е. первые коконы небольшого размера могут содержать в среднем по одной яйцеклетке.

3. Подъем репродуктивной активности половозрелых червей начинается после 2 недель адаптации к новому субстрату. Затем происходит процесс стабилизации, и только после 15 недели наступает второй подъем численности коконов при ежедневном кормлении взрослых червей.

4. Появление ювенильных стадий начинается после 2 недель развития коконов, а к 10 неделе этот процесс стабилизируется. Подъем плотности популяции взрослых особей происходит через 11 недель развития коконов и ювенильных стадий, которые после 5 недель роста приступают к откладке коконов второго поколения.

5. Исходя из соотношения численности отдельных стадий развития, был прослежен процесс формирования возрастной структуры популяции в разные сроки после стабилизации процесса на субстратах из навозов составила 1 : 3,4 : 1,6 , а на фитоотходах – 1 : 4,7 : 1,8. Возрастная структура популяции *E. fetida* не совсем согласуется с результатами на субстратах перерабатываемых фитоотходов, так как при стабилизации в них остается повышенная численность ювенильных стадий (в 1,5 раза). Все это доказывает, что с постепенным развитием популяции *E. fetida* возрастная структура принимает более естественное и устойчивое положение, исходя из субстратов. Таким образом, процент неполовозрелых животных в составе популяции отражает потенциальную возможность воспроизведения на ближайшее время, что является основой прогнозирования темпов роста плотности популяции.

6. Экстракт биогумуса из субстратов фитомассы оказывает более благоприятное влияние при средней начальной плотности популяции (1,5 кг) и всех уровнях кормления на рост и размножение популяции дождевых червей *E. fetida*, где плодовитость может увеличиваться более чем в 3 раза. Экстракт биогумуса из газонной травы дает возможность повысить плодовитость при самом низком и самом высоком уровнях кормления не более чем на 50%, т.е. биогумус из фитомассы газонной травы оказывает менее благоприятное влияние на плодовитость червей, чем лиственной опад и разнотравье.

7. Процесс переработки субстрата из опада листьев при самой низкой плотности популяции *E. fetida* на всех уровнях кормления дает возможность постепенного нарастания выработки биогумуса как в первом, так и во втором поколениях развития популяции. Исключением является третье поколение, когда начинается небольшое уменьшение выработки биогумуса. Это связано со стабилизацией возрастной структуры и самого процесса.

8. Реакция прорастания семян огурцов и томатов на концентрации биогумусных экстрактов достоверна ($t = >10,2$). Увеличение концентрации

биогуменных экстрактов приводит к значительному изменению ($t = >11,34$; $F = >45,52$) реакции на рост семян огурцов и томатов, при которой площадь листьев растений достигала максимума при 10%-ной концентрации экстракта биогумена в течение 10 дней и значительно снижалась при 25%-ной. Обработка семян и рассады экстрактами биогумена из субстрата навоза КРС и лошадей оказывает стимулирующее воздействие на прорастание семян и рост рассады как томатов, так и огурцов. Экстракты биогумена из субстратов газонной травы и разнотравья оказывают умеренное воздействие на рост площади листьев, высоту стебля и количество листьев томатов и огурцов по сравнению с экстрактами из навоза КРС и лошадей.

9. Переработанные *E. fetida* фитомассы могут оказывать значительное отрицательное влияние на интенсивность размножения двупятнистых паутинных клещей (*Tetranychus urticae*). Так, 10% и 25% концентрация экстрактов биогумена из фитомассы показывает, что происходит задержка роста плотности популяции *Tetranychus urticae*, т.е. на 14 день она возросла только на 21 и 32%, а в контрольном варианте выросла в 20 раз. На 35 день плотность популяции в контроле была максимальной и составила 14,78 клеща/см². Повышение плотности популяции паутинных клещей на контрольном участке, вероятно, связана с активным развитием второго и третьего поколений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артамонова В.С. Микробиологические особенности антропогенно-преобразованных почв Западной Сибири / В.С. Артамонова // Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2002. – 225 с.
2. Артюшин А.М. Биогумус – природное удобрение/ А.М. Артюшин, Б.Г. Стадник // Биология в школе. – 1994. – № 1. – С. 9 – 11.
3. Атлавините О. Влияние дождевых червей на агроценозы / О. Атлавините // Вильнюс: Мокслас. – 1990. – С. 36 – 38.
4. Бабенко А. С. Экология почвенных беспозвоночных: учебное пособие / А. С. Бабенко // Томск: ИНТЛ. – 2006. – 103 с.
5. Белик В.Ф. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве / В.Ф. Белик // М.: Агропромиздат. – 1992. – 224 с.
6. Ветрова Т.П. Эффективность утилизации бытовых отходов / Т.П. Ветрова // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. – 2000. – 18 с.
7. Всеволодова-Перель Т. С. Дождевые черви фауны России / Т. С. Всеволодова-Перель // М.: Наука. – 1997. – 102 с.
8. Гайдаш Н.И. К вопросу о вермикомпостировании / Н.И. Гайдаш // Вестник Российской академии с.-х. наук. – М. – 1997. – № 5. – С. 24 – 25.
9. Гедройц К. К. Химическая роль земляных червей / К. К. Гедройц, Г. Д. Аншальд // Журн. опыт. агрон. – 1902. – № 5. – С. 616 – 617
10. Городний Н.М. Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве / Н.М. Городний, И.А. Мельник, М.Ф. Повхан // К.: Урожай, – 1990. – 256 с.
11. Гриднев П. И. Технологии и технические средства для уборки и утилизации навоза в фермерских хозяйствах / П. И. Гриднев, Н. П. Мишуров. // М.: Информагротех. – 1996. – 44 с.
12. Игонин А.М. Дождевые черви и плодородие почвы/ А.М. Игонин // Владимир: Редакционно-издательский отдел. – 1992. – 56 с.

13. Колесникова А. Почвенные беспозвоночные в городской среде / А. Колесникова, О. Мольков // Вестник ИБ. – 2008. – №12. – С. 16 – 19.
14. Кузнецова Н.А. Организация сообществ почвообитающих коллембол / Н.А. Кузнецова // М: ГНО «Прометей» МПГУ. – 2005. – 244 с.
15. Курчева Г. Ф. Роль животных в почвообразовании / Г. Ф. Курчева // М.: Знание. – 1973. – 64 с.
16. Курчева Г. Ф. Роль почвенных животных в разложении и гумификации растительных остатков / Г. Ф. Курчева // М.: Наука. – 1971. – 156с.
17. Лазарчик В.М. Вермикомпосты на основе разных субстратов / В.М. Лазарчик, А.М. Головков, В.Е. Лазарчик, Н.Ф. Черкашина // Агрохимический вестник. – 2005. – №3. – С. 14 – 17.
18. Лаплыгина В.А. Влияние различных органических удобрений на агрегатный состав почв / Лаплыгина В.А. // Интенсификация систем земледелия в Калининской области. – 1986. – С.46 – 48.
19. Лысак Л.В. Бактериальные сообщества городских почв / Л.В. Лысак // Автореферат диссертация докт. биол. н. – 2010. – 46 с.
20. Лящев А.А. Эффективность использования различных субстратов при вермикультивировании / А.А. Лящев // Агропродовольственная политика России. – 2013. – № 3. – С. 48 – 50.
21. Лящев А.А. Влияние подготовки субстрата для вермикультивирования на содержание семян сорных растений и яиц гельминтов в условиях Северного Зауралья / А.А. Лящев // Агропродовольственная политика России. – 2015. – № 10. – С. 55 – 60.
22. Лящев А.А. Характеристика развития популяции дождевых компостных червей в субстрате из городских органических остатков / А.А. Лящев, И.А. Прок // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 11 (101). – С. 154 – 158.

23. Марченко Н.М. Современная технология обработки отходов животноводства и охрана природы: Учеб. пособие / Марченко Н.М. // М.: «Высшая школа». – 1984. – С. 112 – 116.
24. Минеев В.Г. Биологическое земледелие и минеральные удобрения / В.Г. Минеев, Б. Дебрецени, Т. Мазур // Наука. – 1993. – 257 с.
25. Морев Ю.Б. Разведение дождевых червей на отходах животноводства / Ю.Б. Морев // Сер. Химико – технологические науки. Фрунзе: Изд. АН Кирг. ССР. –1989. – № 1. – С. 60 – 64.
26. Орлов Д.С. Экологические нормативы на нетрадиционные органические удобрения / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Д.С. Ладонин // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – №5. – С. 35 – 38.
27. Островерхова Г. П. Зоология беспозвоночных / Г.П. Островерхова // Томск: Томский университет. – 2005. – 660 с.
28. Перель Т. С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР / Т.С. Перель // М.: Наука. – 1979. – 275 с.
29. Петрова Г. В. Оценка характера развития смешанной популяции калифорнийского гибрида и местных червей *Eisenia foetida* / Г.В. Петрова, В.А. Симоненкова, А.В. Долбня // Дождевые черви и плодородие почв: материалы II международной научно-практической конференции. Владимир, 17–19 марта 2004 г. – Владимир. – 2004. – С. 59 – 60.
30. Петроченко К.А. Экологические и физико-химические аспекты переработки листового опада вермикультурой *Eisenia fetida* (Savigny) / К.А. Петроченко // Диссертация канд. биол. наук. – 2018. – 108 с.
31. Петроченко К.А. Вермикомпост на основе листового опада – перспективное кальциевое удобрение / К.А. Петроченко, А.В. Куровский, А.С. Бабенко, Ю.Е. Якимов // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2015. – № 2 (30). – С. 20 – 34.
32. Прок И.А. Подготовка субстрата из газонной травы для вермикультивирования / И.А. Прок, А.А. Лящев // Коняевские чтения:

сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции (13–15 декабря 2017 г.) – Екатеринбург: Уральский ГАУ. – 2018. – С. 20 – 23.

33. Просяников Е.В. Словарь справочник по вермитехнологии (разведение дождевых червей) / Е.В. Просяников, А.В. Ерёмин, И.И. Мешков // Брянск: Изд – во Брянской ГСХА. – 2000. – 87.

34. Просяников Е.В. Вермитехнология – фактор биологизации земледелия / Е.В. Просяников, В.В. Осмоловский, А.В. Ерёмин, В.В. Мамеев // Система биологизации земледелия Нечернозёмной зоны России. Т.1. – М.: ФГНУ «Росинформагротех». – 2002. – С. 274 – 381.

35. Рахлеева А.А. Особенности сукцессий почвенной мезофауны в рядах формирования и трансформации почв в городских условиях / А.А. Рахлеева, Т.В. Прокофьева // Материалы V Всероссийского съезда почвоведов им. В.В. Докучаева. Под ред. Е.Д. Никитина. Ростов-на-Дону: ЗАО «Росиздат». – 2008. – С. 126 – 126.

36. Смагин А.В. Городские почвы / А.В. Смагин. // Природа. – 2010. – №7. – С. 16 – 23.

37. Старостина В.Ю. Использование методов оценки воздействия на окружающую среду при выборе перспективного способа обращения с отходами производства и потребления / В.Ю. Старостина, О.В. Уланова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.

38. Сорокин И. Б. Применение биоресурса *Eisenia foetida* в земледелии подтаежной зоны Сибири / И. Б. Сорокин // Вермикомпостирование и вермикультивирование как основа экологического земледелия в XXI веке: достижения, проблемы, перспективы: сб. науч. тр. / ред. кол.: С. Л. Максимова [и др.]. – Минск, 2013. – С. 95 – 100.

39. Терещенко Н. Н. Микробиологические механизмы формирования фунгистатических свойств вермикомпоста и грунтов на его основе / Н. Н.

Терещенко, А. Б. Бубина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – № 11. – С. 1 – 7.

40. Терещенко Н. Н. Эффективность применения микроорганизмов, изолированных из копролитов дождевых червей, для увеличения урожайности зерновых культур / Н. Н. Терещенко // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2013. – № 5. – С. 10 – 17.

41. Титов И. Н. Дождевые черви. Руководство по вермикультуре в двух частях. Часть 1: Компостные черви / И. Н. Титов // М.: ООО МКФ Точка Опоры. – 2012. – 284 с.

42. Чекановская О. В. Дождевые черви и почвообразование / О. В. Чекановская // М.: АН СССР. – 1960. – 207 с.

43. Экологические функции городских почв. Под ред. А.С. Курбатовой, В.Н. Башкина // Смоленск: Маджента. – 2004. – 232 с.

44. Abbasi S.A. Solid Waste Management with Vermitechnology / S.A. Abbasi, E.V. Ramasamy // Discovery Publishing House. – 2001. – P. 178.

45. Abbasi T. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization // T. Abbasi, S.A. Abbasi // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2010. – vol. 14. – P. 919 – 937.

46. Abbasi T. Is the use of renewable energy sources an answer to the problems of global warming and pollution? / T. Abbasi, S.A. Abbasi // Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. – 2012. – vol. 42. – P. 99 – 154.

47. Aira M. Microbial and nutrient stabilization of two animal manures after the transit through the gut of the earthworm *Eisenia fetida* / M. Aira, J. Dominguez // J Hazard Mater. – 2009. – vol. 161. – P. 1234 – 1238.

48. Aira M. Changes in bacterial numbers and microbial activity of pig slurry during gut transit of epigeic and anecic earthworms / M. Aira, F. Monroy, J. Dominguez // J Hazard Mater. – 2009. – vol. 162. – P. 1404 – 1407.

49. Aira M. Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the

application rates of pig slurry / M. Aira, F. Monroy, J. Dominguez // Sci Total Environ. - 2007a. – vol. 385. – P. 252 – 261

50. Aira M. *Eisenia fetida* (*Oligochaeta: Lumbricidae*) modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure / M. Aira, F. Monroy, J. Dominguez // Microb Ecol. - 2007b. – vol. 54. – P. 662 – 671.

51. Albanell E. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes / E. Albanell, J. Plaixats, T. Cabrero // Biol Fertil Soils. – 1988. – vol. 6. – P. 266 – 269

52. Albuzio A. Effects of humic substances on nitrate uptake and assimilation of barley seedlings / A. Albuzio, G. Ferrari, S. Nardi // Can J Soil Sci. – 1986. – vol. 66. – P. 731 – 736.

53. Altavinita O. The effect of *Lumbricidae* on the soil microorganisms / O. Altavinita, A. Lugauskas // Soil organisms and primary production. – 1973. – P. 73 – 80.

54. Arancon N.Q. Management of plant parasitic nematode populations by use of vermicomposts / N.Q. Arancon, C.A. Edwards, S. Lee // Proceedings Brighton Crop Protection Conference Pests and Diseases. – 2002. – vol. 8B-2. – P. 705 – 716.

55. Arancon N.Q. Influences of vermicomposts on field strawberries: effects on soil microbial and chemical properties / N.Q. Arancon, C.A. Edwards, P. Bierman // Bioresour Technol. – 2006. – vol. 97. – P. 831 – 840.

56. Arancon N.Q. Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts / N.Q. Arancon, P.A. Galvis, C.A. Edwards // Bioresour Technol. – 2005. – vol. 96. – P. 1137 – 1142.

57. Arancon N.Q. Suppression of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), mealy bug (*Pseudococcus spp*) and aphid (*Myzus persicae*) populations and damage by vermicomposts / N.Q. Arancon, C.A. Edwards, E.N. Yardim, T.J. Oliver, R.J. Byrne, G. Keeney // Crop Prot. – 2007. – vol. 26. – P. 29 – 39.

58. Arancon N.Q. Trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicompost / N.Q. Arancon, P.A. Galvis, C.A. Edwards, E.N. Yardim // *Pedobiologia*. – 2003. – vol. 47. – P. 736 – 740.
59. Arancon N.Q. Effects of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants / N. Q. Arancon, S. Lee, C.A. Edwards, R. M. Atiyeh // *Pedobiologia*. – 2003a. – vol. 47. – P. 741 – 744.
60. Arancon N.Q. Vermicomposts can suppress plant pest and disease attacks / N.Q. Arancon, C.A. Edwards // *Biocycle March*. – 2004. – P. 51 – 53.
61. Arancon N. Management of plant parasitic nematodes by use of vermicomposts / N.Q. Arancon, C.A. Edwards, E.N. Yardim, S. Lee // *Proceedings of Brighton Crop Protection Conference — Pests and Diseases*. – 2002. – vol. II, 8B-2. – P. 705 – 710.
62. Arancon N.Q. The influence of vermicompost applications to strawberries: Part 1. Effects on growth and yield / N.Q. Arancon, C.A. Edwards, P. Bierman, C. Welch, J.D. Metzger // *Bioresource Technology*. – 2004. – vol. 93. – P. 145 – 153.
63. Arancon N.Q. Effects of vermicomposts applied to tomatoes and peppers grown in the field, and strawberries grown under high plastic tunnels / N.Q. Arancon, C.A. Edwards, P. Bierman, C. Welch, J.D. Metzger // *Pedobiologia*. – 2003b. – vol. 47. – P. 731 – 735.
64. Armour-Chelu M. Some effects of bioturbation by earthworms (*Oligochaeta*) on archaeological sites / M. Armour-Chelu, P. Andrews // *Journal of Archaeological Science*. – 1994. – vol. 21. – P. 433 – 443.
65. Arshad M. Microbial production of plant growth regulators / M. Arshad, Jr. W.T Frankenberger // *Soil Microbial Ecology: Applications in Agricultural and Environmental Management*. – 1993. – P. 307 – 347.
66. Appelhof M. Worms eat my garbage / M. Appelhof // *Flower Press, Kalamazoo*. – 1982.

67. Aquino A.M. Earthworms (*Oligochaeta*) reproduction in manure and sugarcane bagasse / A.M. Aquino, D.E. Almeida, D.L. Freire, H.D.E. Polli // Pesquisa Agropecuaria Brasileria. – 1994. – vol. 29. – P. 161 – 168.
68. Atharasopoulous N. Use of earthworm biotechnology for the management of aerobically stabilized effluents of dried vine fruit industry / N. Atharasopoulous // Biotechnol. Lett. – 1993. – vol. 15 (12). – P. 126 – 128.
69. Atiyeh R.M. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physicochemical properties and plant growth / R. M. Atiyeh, C. A. Edwards, S. Subler, J. D // Metzger Bioresource Technology. – 2001. – vol. 78. – P. 11 – 20. DOI: 10.1016/ s0960-8524(00)00172-3
70. Atiyeh R.M. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth / R. M. Atiyeh, S. Lee, C. A. Edwards, N. Q. Arancon, J. D. Metzger // Bioresource Technology. – 2002. – vol. 84, no. 1. – P. 7 – 14.
71. Atiyeh R.M. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds / R. M. Atiyeh, N. Q. Arancon, C. A. Edwards, J. D. Metzger // Bioresource Technology. – 2001. – vol. 81. – P. 103 – 108.
72. Bajsa O. Vermiculture as a tool for domestic wastewater management / O. Bajsa, J. Nair, K. Mathew, G.E. Ho // Water Science and Technology. – 2003. – vol. 48. – P. 125 – 132. DOI: 10.2166/wst.2004.0821
73. Bansal S. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia fetida* / S. Bansal, K. K. Kapoor // Bioresource Technology. – 2000. – vol. 73, no. 2. – P. 95 – 98.
74. Barea J.M. Production of plant growth regulators by rhizosphere phosphatesolubilizing bacteria / J.M. Barea, E. Navarro, E. Montana // App. Bacteriol. – 1976. – vol. 40. – P. 129 – 134.
75. Benitez E. Enzymes activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting by *Eisenia foetida* / E. Benitez, R. Nogales, C. Elvira, G.

Masciandaro, B. Ceccanti // Bioresource Technology. – 1999. – vol. 67. – P. 297 – 303. DOI: 10.1016/S0960-8524(98)00117-5

76. Binet F. Significance of earthworms in stimulating soil microbial activity / F. Binet, L. Fayolle, M. Pussard // Biology and Fertility of Soils. – 1998. – vol. 27. – P. 79 – 84. DOI: 10.1007/s003740050403

77. Biradar A.P. Effects of vermicomposts on the incidence of subabul pycnillid / A.P. Biradar, N.D. Sunita, R.G. Tegegelli, S.B. Devaranavadi // Ins Environ. – 1998. – vol. 4. – P. 55 – 56.

78. Blakemore R. J. Saga of Herr Hilgendorf's worms (*Oligochaeta: Megascolecidae*) / R. J. Blakemore // Advances in Earthworm Taxonomy IV (*Annelida: Oligochaeta*): Proceedings of the 4th International Oligochaete Taxonomy Meeting (4th IOTM). Diyarbakir, Turkey, 20–24 April, 2009. Heidelberg: Kasperek Verlag. – 2010. – P. 7 – 22.

79. Blakemore R. J. Cosmopolitan Earthworms: An Eco-taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World / R. J. Blakemore // Australia: Verm Ecology. – 2012. – P. 419.

80. Bouche M.B. Strategies lombriciennes. Soil organisms components of ecosystems / M.B. Bouche // Biol Bull. – 1997. – vol. 25. – P. 122 – 132.

81. Buckerfield J.C. Vermicompost in solid and liquid forms as a plant-growth promoter / J.C. Buckerfield, T.C. Flavel, K.E. Lee, K.A. Webster // Pedobiologia. – 1999. – vol. 43. – P. 753 – 759.

82. Butt K.R. Utilization of solid paper mill sludge and spent brewery yeast as a feed for soil-dwelling earthworms / K.R. Butt // Biores. Technol. – 1993. – vol. 44. – P. 105 – 107.

83. Canellas L.P. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma H⁺-ATPase activity in maize roots / L.P. Canellas, F.L. Olivares, A.L. Okorokova, A.R. Facanha // Pl. Physiol. – 2000. – vol. 130. – P. 1951 – 1957.

84. Casenave de Sanfilippo E. Content of auxin-inhibitor and gibberellin-like substances in humic acids / E. Casenave de Sanfilippo, J.A. Arguello, G. Abdala, G.A. Orioli // *Biol Plant.* – 1990. – vol. 32. – P. 346 – 351.
85. Chan L.P.S. The vermicomposting of pre-treated pig manure / L.P.S. Chan, D.A. Griffiths // *Biol. Wastes.* – 1988. – vol. 24. – P. 57 – 69.
86. Chaoui H. Suppression of the plant parasitic diseases: *Pythium* (damping off), *Rhizoctonia* (root rot) and *Verticillium* (wilt) by vermicompost / H. Chaoui, C.A. Edwards, A. Brickner, S. Lee, N.Q. Arancon // *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. – Pests and Diseases.* – 2002. – vol. 8B-3. – P. 711 – 716.
87. Chaoui H.H. Separating earthworms from organic media using an electric field / H. Chaoui, H. M. Keener // *Biosystems engineering.* – 2008. – no. 3. – P. 409 – 421.
88. Cluzeau D. The adaptation value of reproductive strategy and mode in three epigeous earthworm species / D. Cluzeau, L. Fayolle, M. Hubert // *Soil Biology and Biochemistry.* – 1992. – vol. 24. – P. 1309 – 1315.
89. Crescent T. 2003. Vermicomposting. Development alternatives (DA) sustainable livelihoods / T. Crescent // [Internet]. Available from: <http://www.dainet.org/livelihoods/default.htm> [Accessed: 2003]
90. Culliney T.W. Ecological effects of organic agricultural practices on insect populations / T.W. Culliney, D. Pimentel // *Agriculture, Ecosystems and Environment.* – 1986. – vol. 15. – P. 253 – 266.
91. Darwin C. The formation of vegetable mould through the action of worms, with observations on their habitats / C. Darwin // Murray, London. – 1881. – P. 326.
92. Delgado M. Use of California red worm in sewage sludge transformation / M. Delgado, M. Bigeriego, I. Walter, R. Calbo // *Turrialba.* – 1995. – vol. 45. – P. 33 – 41.

93. Diaz-Burgos M.A. Monitoring biochemical activity during sewage sludge composting / M.A. Diaz-Burgos, B. Ceccanti, A. Polo // Biol. Fertil. Soil. – 1992. – vol. 16. – P. 145 – 150.
94. Dominguez J. Interactions between *Eisenia andrei* (*Oligochaeta*) and nematode populations during vermicomposting / J. Dominguez, R.W. Parmelee, C.A. Edwards // Pedobiologia. – 2003. – vol. 47. – P. 53 – 60.
95. Dominguez J. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (*Oligochaeta*) in pig manure / J. Dominguez, C.A. Edwards // Soil Biology and Biochemistry. – 1997. – vol. 29. - P. 743 – 746.
96. Dominguez J. Vermicomposting of sewage sludge: Effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia Andrei* / J. Dominguez, C.A. Edwards, M. Webster // Pedobiologia. – 2000. – vol. 44. – P. 24 – 32.
97. Douglas I. The Routledge Handbook of Urban Ecology / I. Douglas, D. Goode, M.C. Houck, R. Wang // London: Routledge. – 2011. – P. 664.
98. Edwards C.A. Vermiculture Technology, Earthworms, Organic Waste and Environmental Management / C.A. Edwards, Q.A. Norman, R. Sherman // CRC Press. – 2011. – P. 17 – 19.
99. Edwards C.A. Vermicomposts suppress plant pest and disease attacks / C.A. Edwards, N.Q. Arancon // Biocycle. – 2004. – vol. 45. – P. 51 – 55.
100. Edwards C.A. The potential of earthworm composts and plant growth media / C.A. Edwards, I. Burrows // Earthworms in waste and Environmental Management. SPB Academic. The Hague. – 1988. – P. 211 – 217.
101. Edwards C.A. Biology and ecology of earthworms. (3rd edn) / C.A. Edwards, P.J. Bohlen // Chapman and Hall Press, London. – 1996. – P. 567.
102. Edwards C.A. Effect of aqueous extracts from vermicomposts on attacks by cucumber beetles (*Acalymnavittatum*) (Fabr.) on cucumbers and tobacco hornworm (*Manduca sexta*) (L.) on tomatoes / C.A. Edwards, N.Q. Arancon, M.

Vasko-Bennett, A. Askar, G. Keeney // *Pedobiologia*. – 2010. – vol. 53. – P. 141 – 148.

103. Edwards C.A. Use of earthworms for composting farm wastes / C.A. Edwards, I. Burrows, K.E. Fletcher, B.A. Jones // *Composting of agricultural and other wastes*/edited by JKR Gasser. – 1985. – P. 229 – 242.

104. Edwards C.A. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes / C.A. Edwards // *Earthworm ecology*. CRC Press, Boca Raton. – 1998. – P. 327 – 354.

105. Edwards C.A. Earthworms in waste and environmental management / C.A. Edwards, E.F. Neuhauser // *SPB Academic Publishing*, The Hague. – 1988. – P. 21 – 31.

106. Edwards C.A. Earthworm ecology, 2nd edn / C.A. Edwards // *CRC Press*, Boca Raton, – 2004.

107. Edwards C.A. Biology and ecology of earthworms / C.A. Edwards, P.J. Bohlen // *Chapman & Hall*, London. – 1996. – P. 426.

108. Edwards C.A. The potential of earthworm composts as plant growth media / C.A. Edwards, I. Burrows // *Earthworms in Waste and Environmental Management*. Netherlands: *SPB Academic Press*. – 1988. – P. 21 – 32.

109. Edwards C.A. The influence of vermicomposts on plant growth and pest incidence / C.A. Edwards, J. Dominguez, N.Q. Arancon // *Soil zoology for sustainable development in the 21st Century*. Self-Publisher Cairo, Egypt. – 2004. – P. 397 – 420.

110. Edwards C.A. Suppression of green peach aphid (*Myzus persicae*) (Sulz.), citrus mealybug (*Planococcus citri*) (Risso), and two spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) (Koch.) attacks on tomatoes and cucumbers by aqueous extracts from vermicomposts / C.A. Edwards, N.Q. Arancon, M. Vasko-Bennett, A. Askar, G. Keeney, B. Little // *Crop Prot.* – 2009. - vol. 29(1). – P. 80 – 93.

111. Edwards N.Q. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes to produce vermicomposts and fees protein / C.A. Edwards, N.Q.

Arancon // Earthworm Ecology. Second edition. CRC Press, Boca Raton, FL. – 2004b. - P. 345 – 379.

112. Eigenbrode S.D. Effects of manure and chemical fertilizers on insect pest populations on collards / S.D. Eigenbrode, D. Pimentel // Agric. Ecosys. Environ. – 1988. – vol. 20. – P. 109 – 125.

113. Elvira C. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisena andrei*: a pilot-scale study / C. Elvira, L. Sampedro, E. Benítez, R. Nogales // Bioresource Technology. – 1998. – vol. 63, no. 3. – P. 205 – 211.

114. Feller C. Charles Darwin, earthworms and natural sciences: various lessons from past to future / C. Feller, G.G. Brown, E. Blanchart, P. Deleporte, S.S. Cheryyanskii // Agric. Ecosyst. Environ. – 2003. – vol. 99. – P. 29 – 49.

115. Fox L.R. Insect grazing on eucalyptus in response to variation in leaf tannins and nitrogen / L.R. Fox, B.J. Macauley // Oecologia (Berlin). – 1977. – vol. 29. – P. 145 – 162.

116. Frederickson J. The use of anaerobically digested cattle solids for vermiculture / J. Frederickson, D. Knight // in Earthworms in Waste and Environmental Management, SPB Academie, The Hague, Netherlands. – 1988. – P. 33 – 47.

117. Frederickson J. Combining vermiculture with traditional green waste composting systems / J. Frederickson, K. R. Butt, R. M. Morris, C. Daniel // Soil Biology and Biochemistry. – 1997. – vol. 29. – no. 3 – 4. – P. 725 – 730.

118. Gajalakshmi S. Neem leaves as a source of fertilizercumpesticide vermicompost / S. Gajalakshmi, S.A. Abbasi // Bioresour. Technol. – 2004a. – vol. 92. – P. 291 – 296.

119. Gajalakshmi S. Earthworms and vermicomposting / S. Gajalakshmi, S.A. Abbasi // Indian J. Biotechnol. – 2004b. – vol. 3. – P. 486 – 494.

120. Gajalakshmi S. Solid waste management by composting: state of the art // S. Gajalakshmi, S.A. Abbasi // Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. – 2008. – vol. 38. – P. 311 – 400
121. Gajalakshmi S. Neem leaves as source of fertilizer-cum-pesticide vermicompost / S. Gajalakshmi, S.A. Abbasi // Biores. Technol. – 2004. – vol. 92. – P. 291 – 296.
122. Gajalakshmi S. Assessment of sustainable vermiconversion of water hyacinth at different reactor efficiencies employing *Eudrilus eugeniae* Kingburg / S. Gajalakshmi, E.V. Ramasamy, S.A. Abbasi // Biores. Technol. – 2001. – vol. 80. – P. 131 – 135.
123. Gajalakshmi S. Vermicomposting of paper waste with the anecic earthworm *Lampito mauritii* Kingburg / S. Gajalakshmi, E.V. Ramasamy, S.A. Abbasi // Indian J. Chem. Technol. – 2002. – vol. 9. – P. 306 – 311.
124. Garg P. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: a comparative study / P. Garg, A. Gupta, S. Satya // Biores Technol. – 2006. – vol. 97. – P. 391 – 395.
125. Garg V.K. Vermistabilization of textile mill sludge spiked with poultry droppings by an epigeic earthworm *Eisenia foetida* / V.K. Garg, P. Kaushyk // Bioresource Technology. – 2005. – Vol. 96. – Is. 9. – P. 1063 – 1071.
126. Gopal M. Amplification of plant beneficial microbial communities during conversion of coconut leaf substrate to vermicompost by *Eudrilus sp* / M. Gopal, A. Gupta, E. Sunil, G.V. Thomas // Curr Microbiol. – 2009. – vol. 59. – P. 15 – 20.
127. Goyal S. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity / S. Goyal, S.K. Dhull, K.K. Kapoor // Bioresource Technology. – 2005. – vol. 96. – P. 1584 – 1591. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.12.012

128. Graff O. Crop yield of rye-grass influenced by the excretions of three earthworm species / O. Graff, F. Makeschin // *Pedobiologia*. – 1980. – T. 20. – №. 3. – P. 176 – 180.

129. Graff O. Gewinnung von Biomasse aus Abfallstoffen durch Kultur des Kompostregenwurms *Eisenia foetida* (Savigny 1826) / O. Graff // *Landbauforsch Volk*. – 1974. – vol. 24. – P. 137 – 142.

130. Graziano P. L. Use of worm-casting techniques on sludges and municipal wastes: development and application / P. L. Graziano, G. Casalicchio // in *On Earthworms*. – 1987. – P. 459 – 464.

131. Gunadi B. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (*Lumbricidae*) / B. Gunadi, C.A. Edwards // *Pedobiologia*. – 2003. – Vol. 47. Is. 4. – P. 321 – 330.

132. Gupta R. Stabilization of primary sludge during vermicomposting / A. Gupta, V.K. Garg // *J Hazard Mater*. – 2008. – vol. 153(3). – P. 1023 – 1030.

133. Gutierrez-Miceli F.A. Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation / F.A. Gutierrez-Miceli, B. Moguel-Zamudio, M. Abud-Archila, V.F. Gutierrez-Oliva, L. Dendooven // *Bioresour Technol*. – 2008. – vol. 99. – P. 7020 – 7026.

134. Haimi J. Growth and reproduction of the compostliving earthworms *Eisenia andrei* and *E. fetida* / J. Haimi // *Revue d' Ecologie et de Biologie du Sol*. – 1990. – vol. 27. – P. 415 – 421.

135. Hand P. The vermicomposting of cow slurry / P. Hand, W.A. Hayes, J.C. Frankland, J.E. Satchell // *Pedobiologia*. – 1998. – vol. 31. – P. 199 – 209.

136. Hartenstein R. Physico-chemical changes affected in activated sludge by the earthworm *Eisenia foetida* / R. Hartenstein, F. Hartenstein // *J. Environ. Quality*. – 1981. – vol. 10. – P. 377 – 382.

137. Hartenstein R. Reproductive potential of the earthworm *Eisenia foetida* / R. Hartenstein, E.F. Neuhauser, D.L. Kaplan // *Oecologia*. – 1979. – vol. 43. – P. 329 – 340.
138. Hendrix P. F. Earthworm ecology and biogeography in North America / P. F. Hendrix // Florida: Lewis Publishers. – 1995. – P. 256.
139. Hussain N. Vermiremediation of an invasive and pernicious weed salvinia (*Salvinia molesta*) / N. Hussain, T. Abbasi, S.A. Abbasi // *Ecological Engineering*. – 2016. – vol. 91. – P. 432 – 440.
140. Iqbal M.F. Effectiveness of Some Botanical Extracts on Wheat Aphids / M.F. Iqbal, M.H. Kahloon, M.R. Nawaz, M.I. Javaid // *The Journal of Animal & Plant Sciences*. – 2011. – vol. 21 (1). – P. 114 – 115.
141. Ismail S.A. The earthworm book / S.A. Ismail // Other India Press, Mapusa. – 2005. – P. 101.
142. Ismail S.A. Vermicology: The Biology of Earthworms / S.A. Ismail // Orient Longman Limited: Chennai. – 1997.
143. Jadia C. D. Vermicomposting of vegetable waste: a bio-physicochemical process based on hydrooperating bioreactor / C. D. Jadia, M. H. Fulekar // *African Journal of Biotechnology*. – 2008. – vol. 7. – P. 3723 – 3730.
144. James S. W. Earthworms (*Clitellata*, *Acanthodrilidae*) of the mountains of Eastern Jamaica / S. W. James // *Organisms Diversity & Evolution*. – 2004. – Vol. 4. Is. 4. – P. 277 – 294.
145. James S. W. The earthworm genus *Pleionogaster* (*Clitellata*: *Megascolecidae*) in southern Luzon, Philippines / S. W. James // *Organisms Diversity & Evolution*. – 2006. – Vol. 6. Is. 3. – P. 167 – 170.
146. James S. W. Revision of the earthworm genus *Archipheretima* *Michaelsen* (*Clitellata*: *Megascolecidae*), with descriptions of new species from Luzon and Catanduanes Islands, Philippines / S. W. James // *Organisms Diversity & Evolution*. – 2009. – Vol. 9. Is. 3. – P. 244 – 260.

147. Jefferies I. R. Apopulation model for the earthworm *Eisenia foetida* / I.R. Jefferies, E. Audsley // Earthworms in Waste and Environmental Management. SPB Academic Publishing, The Hague. – 1988. – P. 119 – 134.
148. Jeyabal A. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice–legume cropping system and soil fertility / A. Jeyabal, G. Kuppaswamy // European Journal of Agronomy. – 2001. – vol. 15. – P. 153 – 170. DOI: 10.1016/S1161-0301(00)00100-3
149. Joshi N.V. The role of earthworms in soil fertility / N.V. Joshi, B.V. Kelkar // Indian Journal of Agriculture Sciences. – 1951. – vol. 21 (4). – P. 189 – 196.
150. Kale R.D. Earthworms: nature's gift for utilization of organic wastes / R. D. Kale // Earthworm ecology. Soil and Water Conservation Society. St. Lucie Press, Ankeny. New York. – 1998. – P. 355 – 373.
151. Kale R.D. Vermicomposting has a bright scope / R. D. Kale // Indian Silk. – 1995. – vol. 34. – P. 6 – 9.
152. Kale R.D. Potential of Perionyx excavates for utilization of organic wastes / R. D. Kale, K. Bano, R. V. Krishnamoorthy // Pedobiologia. – 1982. – vol. 23, no. 6. – P. 419 – 425.
153. Kaplan D. L. Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida* / D.L. Kaplan, R. Hartenstein, E.F. Neuhauser, M.R. Malecki // Soil Biology and Biochemistry. – 1980. – vol. 12. – P. 347 – 352.
154. Karthikeyan V. Vermi composting of market waste in Salem, Tamilnadu, India / V. Karthikeyan, G. L. Sathyamoorthy, R. Murugesan // in Proceedings of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management. – 2007. – P. 276 – 281.
155. Kaushik P. Vermicomposting of mixed soil textile mill sludge and cow dung with the epigeic earthworm *Eisenia foetida* / P. Kaushik, V. K. Garg // Biores. Technol. – 2003. – vol. 90. – P. 311 – 316.

156. Kiyasudeen K.S. Earthworm's gut as reactor in vermicomposting process: a mini review / K.S. Kiyasudeen, R.S. Jessy, M.H. Ibrahim // Int J Sci Res Publ. – 2014. – vol. 4(7). – P. 1 – 6.
157. Krishnamoorthy R.V. Biological activity of earthworm casts: An assessment of plant growth promoter levels in casts / R.V. Krishnamoorthy, S.N. Vajrabhiah // Proceedings of the Indiana Academy of Sciences. – 1986. – vol. 95. – P. 341 – 351.
158. Lachnicht S.L. Interaction of earthworm *Diplocardia mississippiensis* (*Megascolecidae*) with microbial and nutrient dynamics in subtropical Spodosol / S.L. Lachnicht, P.F. Hendrix // Soil Biol Biochem. – 2001. – vol. 33. – P. 1411 – 1417.
159. Lavelle P. Spain AV / P. Lavelle // Soil ecology. Kluwer, Dordrecht. – 2001.
160. Lavelle P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function / P. Lavelle // Adv Ecol Res. – 1997. – vol. 27. – P. 93 – 132
161. Lavelle P. Earthworms as a resource in tropical agroecosystems / P. Lavelle, J. Barois, E. Blanchart, G. Brown, L. Brussard, T. Decaens, C. Fragoso, J.J. Jimenez, K.K. Kajondo, M.A. Martinez, A. Moreno, B. Pashnasi, B. Senpati, C. Villenave // Nat Resour. – 1998. – vol. 34. – P. 26 – 41.
162. Lee K. E. Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use / K. E. Lee // Academic Press, London, UK. – 1985.
163. Loh T.C. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance / T.C Loh, Y.C Lee, J.B Liang, D. Tan // Bioresour Technol. – 2004. – Vol. 96. – Is. 1. – P. 111 – 114.
164. Lung A. J. Destruction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enteritidis* in cow manure composting / A.J. Lung, C.M. Lin, J.M. Kim, M.R. Marshall, R. Nordstedt, N.P. Thompson // Journal of Food Protection. – 2001. – vol. 64. – P. 1309 – 1314. DOI: 10.4315/0362-028x-64.9.1309

165. Macdonald D.W. Predation on earthworms by terrestrial vertebrates / D.W. Macdonald // Earthworm ecology from Darwin to vermiculture. Chapman & Hall, London. – 1983. – P. 393 – 414.
166. Manandhar T. Biological control of foot rot disease of rice using fermented products of compost and vermicompost / T. Manandhar, K.D. Yami // Scientific World. – 2008. – vol. 6. – P. 52 – 57.
167. Mba C.C. Treated – cassava peel vermicomposts enhanced earthworm activities and cowpea growth in field plots / C.C. Mba // Resour. Conserv. Recycl. – 1996. – vol. 17. – P. 219 – 226.
168. Mitchell A. Production of *Eisenia foetida* and vermicompost from feedlot cattle manure / A. Mitchell // Soil Biol. Biochem. – 1997. – vol. 29. – P. 763 – 766.
169. Mondal M. Biology and fecundity of the two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) under laboratory condition / M. Mondal, N. Ara // Journal of Life and Earth Sciences. – 2006. – vol. 1(2). – P. 43 – 47.
170. Monroy F. Reduction of total coliform numbers during vermicomposting is caused short-term direct effects of earthworms on microorganisms and depends on the dose of application of pig slurry / F. Monroy, M. Aira, J. Dominguez // Sci Total Environ. – 2009. – vol. 407. – P. 5411 – 5416.
171. Morales H. Traditional fertilization and its effect on corn insect populations in Guatemalan Highlands / H. Morales, I. Perfecto, B. Ferguson // Agric. Ecosys. Environ. – 2001. – vol. 84. – P. 145 – 155.
172. Munnoli P.M. Dynamics of the soil – earthworm / P.M. Munnoli, J.A. Teixeira da Silva, S. Bhosle // Plant relationship: A review. Dynamic soil. Dynamic Plant. – 2010. – vol. 4. – P. 1 – 21.
173. Munroe G. Manual of on-farm vermicomposting and vermiculture / G. Munroe // Publication of Organic Agriculture Centre of Canada, Canada. – 2007. – P. 39.

174. Muller P.E. Studier over Skovjord I. Om Bogemuld od Bogemor paa Sand og Ler. Tidsskrift Skogbruk. – 1878. – vol. 3(1). – P. 124.

175. Nagavallemma K.P. Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer / K.P. Nagavallemma, S.P. Wani, L. Stephane, V.V. Padmaja, C. Vineela, M. Babu Rao // Global Theme on Agrecosystems [Report]. Patancheru, Andhra Pradesh: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. – 2004.

176. Nath S. Growth and reproduction of *Pontoscolex corethrurus* (Muller) with different experimental diets / S. Nath, P.S. Chaudhuri // Tropical Ecology. – 2014. – Vol. 55. – Is. 3. – P. 305 – 312.

177. Nath G. Effect of different combinations of animal dung and Agro kitchen wastes on growth and development of earthworm *Eisenia fetida* / G. Nath, K. Singh, D.K. Singh // Austr J Basic Appl Sci. – 2009. – Vol. 3. – Is. 4. – P. 3553 – 3556.

178. Nayeem-Shah M. Direct vermicomposting of vegetable waste using the concept of high-rate vermireactor operation / M. Nayeem-Shah, S. Gajalakshmi, S. A. Abbasi // International Journal of Environmental Science and Engineering Research. – 2014. – vol. 4. – P. 59 – 65.

179. Neuhauser E.F. Growth of the earthworm *Eisenia foetida* in relation to population density and food rationing / E.F. Neuhauser, R. Hartenstein, D.L. Kaplan // OIKOS. – 1980. – Vol. 35. Is. 1. – P. 93 – 98.

180. Neuhauser E. F. Material supporting weight gain by the earthworm *Eisenia fetida* in waste conversion systems / E.F. Neuhauser, D. L. Kaplan, M. R. Malecki, R. Hartenstein // Agricultural Wastes. - 1980b. – vol. 2. – P. 43 – 60.

181. Nielson R.L. Presence of plant growth substances in earthworms demonstrated by paper chromatography and the went pea test / R.L. Nielson // Nature. – 1965. – P. 208. - 1113-1114. DOI: 10.1038/2081113a0

182. Nijhawan S.D. Physio-chemical properties of earthworm casting and their effect on the productivity of soil / S.D. Nijhawan, J.S. Kanwar // India Journal of Agriculture Sciences. – 1951. - vol. 22 (4). – P. 357 – 373.

183. Orozco F.H. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia foetida*: Effects on C and N contents and the availability of nutrients / F.H. Orozco, J. Cegarra, L.M. Trujillo, A. Roig // Biology and Fertility of Soils. - 1996. – vol. 22. – P. 162 – 166. DOI: 10.1007/BF00384449

184. Pant A. Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, *Chinensis* group) grown under vermicompost and chemical fertilizer / A. Pant, T.J.K. Radovich, N.V. Hue, S.T. Talcott, K.A. Krenek // J. Sci. Food Agr. – 2009. – vol. 89. – P. 2383 – 2392.

185. Parra S. Decision modelling for environmental protection: the contingent valuation method applied to greenhouse waste management / S. Parra, F.J. Aguilar, J. Calatrava // Biosyst. Eng. – 2008. – vol. 99. – P. 469 – 477.

186. Parle J.N. Microorganisms in the intestine of earthworms / J.N. Parle // J Gen Microbiol. – 1963. – vol. 31. – P. 1 – 11.

187. Pathma J. Microbial diversity of vermicomposts bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential / J. Pathma, N. Sakthivel // SpringerPlus – 2012. – vol. 1. – P. 1 – 26.

188. Patriquin D.G. Diseases, pests and soil fertility / D.G. Patriquin, D. Baines, A. Abboud // Soil Management in Sustainable Agriculture. Wye College Press, Wye, UK. – 1995. – P. 161 – 174.

189. Pavlíček T. Opening Pandora's box II: Segmentation and evolution of hermaphroditic annelids / T. Pavlíček // Advances in Earthworm Taxonomy VI (*Annelida: Oligochaeta*): Proceedings of the 6th International Oligochaete Taxonomy Meeting (6th IOTM). – Palmeira de Faro, Portugal, 22-25 April, 2013. Germany, Heidelberg: Kasperek Verlag. – 2014. – P. 38 – 49.

190. Pavlíček T. Opening Pandora's box: Clitellum in phylogeny and taxonomy of earthworms / T. Pavlíček, Y. Hadid, C. Csuzdi // *Advances in Earthworm Taxonomy IV (Annelida: Oligochaeta): Proceedings of the 4th International Oligochaete Taxonomy Meeting (4th IOTM)*. – Diyarbakır, Turkey, 20–24 April - 2009. Heidelberg: Kasperek Verlag. – 2010. – P. 31 – 46.
191. Petrochenko K. A case study of woody leaf litter vermicompost as a promising calcium fertilizer / K. Petrochenko, A. Kurovsky, A. Godymchuk, A. Babenko, Y. Yakimov, A. Gusev // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2019. – Vol. 25(4). – P. 646 – 653.
192. Phelan P.L. Connecting below-ground and above-ground food webs: the role of organic matter in biological buffering / P.L. Phelan // *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. C.R.C. Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C. – 2004. – P. 199 – 226.
193. Phuong H.K. Activity of humus acids from peat as studied by means of some growth regulator bioassays / H.K. Phuong, V. Tichy // *Biol Plant*. – 1976. – vol. 18. – P. 195 – 199.
194. Pearce T.G. A fossil earthworm embryo (*Oligochaeta*) from beneath a late bronze age midden at Pottern, Wiltshire / T.G. Pearce // *UK J Zool Land*. – 1990. – vol. 220. – P. 537 – 542.
195. Ponge J. F. Interactions between earthworms, litter and trees in an old-growth beech forest / J. F. Ponge // *Biol. Fertil. Soils*. – 1999. – Vol. 29. – P. 360 – 370.
196. Pop A. A. Use of 18S, 16S rDNA and cytochrome c oxidase sequences in earthworm taxonomy (*Oligochaeta, Lumbricidae*): The 7th international symposium on earthworm ecology. – Cardiff, Wales, 2002 / A. A. Pop, M. Wink, V. V. Pop // *Pedobiologia*. – 2003. – Vol. 47. – Is. 5 – 6. – P. 428 – 433.
197. Premalatha M. A website to showcase the human-friendly aspects of termites / M. Premalatha, S.M. Tauseef, T. Abbasi, S.A. Abbasi // *Curr. Sci*. – 2013. – vol. 105 (11). – P. 1459 – 1460.

198. Ravi M. Influence of organic manures and fertilizers on the incidence of sucking pests of sunflower, *Helianthus annuus* L. Ann / M. Ravi, N. Dhandapani, N. Sathiah, M. Murugan // Plant Prot. Sci. – 2006. – vol. 14. – P. 41 – 44.
199. Reddy M. V. Vermicomposting of rice-straw and its effects on sorghum growth / M. V. Reddy, Okhura // Tropical Ecology. – 2004. – vol. 45. – P. 327 – 331.
200. Reinecke J.M. The influence of feeding patterns on growth and reproduction of the vermicomposting earthworm *Eisenia fetida* (*Oligochaeta*) / J.M. Reinecke, S.A. Viljoen // Biology and Fertility of Soils. – 1990. – vol. 10. – P. 184 – 187.
201. Rivera M.C. Temperature and dosage dependent suppression of damping-off caused by *Rhizoctonia solani* in vermicompost amended nurseries of white pumpkin / M.C. Rivera, E.R Wright, M.V. Lopez, M.C. Fabrizio // Phyton. – 2004. - vol. 54. – P. 131–136.
202. Ramesh P. Effects of vermicomposts and vermicomposting on damage by sucking pests to ground nut (*Arachis hypogea*) / P. Ramesh // Ind J Agric Sci. – 2000. – vol. 70. – P. 33.
203. Rao K.R. Influence of fertilizers and manures on the population of coccinellid beetles and spiders in groundnut ecosystem / K.R. Rao, P.A. Rao, K.T. Rao // Annu Plant Prot Sci. – 2001. – vol. 9. – P. 43 – 46.
204. Rao K.R. Induced host resistance in the management of sucking insect pests of groundnut / K.R. Rao // Annu Plant Prot Sci. – 2002. – vol. 10. – P. 45 – 50.
205. Sadana G.L. *Tetranychus neocaledonicus* (*Tetranychidae: Acarina*) infesting a new host plants / G.L. Sadana, S.C. Chhabra // Science and Culture. – 1981. – vol. 47. – P. 172 – 173.
206. Sahni S. Management of *Sclerotium rolfsii* with integration of nonconventional chemicals, vermicompost and *Pseudomonas syringae* / S. Sahni,

B.K. Sarma, K.P. Singh // World J Microbiol Biotechnol. – 2008a. – vol. 24. – P. 517 – 522.

207. Saini V.K. Biodegradation of Water Hyacinth, Sugarcane Bagasse and Rice Husk through Vermicomposting / V.K. Saini, R.C. Sihag, R.C. Sharma, S.K. Gahlawat, R.K. Gupta // Intersciences Enterprises Ltd. – 2008. – P. 1478 – 9876.

208. Sanchez-Monedero M.A. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures / M.A. Sanchez-Monedero, A. Roig, C. Paredes, M.P. Bernal // Bioresource Technology. – 2001. – vol. 78. – P. 301 – 308. DOI: 10.1016/s0960-8524(01)00031-1

209. Sarwar M. Studies on Incidence of Insect Pests (Aphids) and Their Natural Enemies in Canola *Brassica napus* L. (*Brassicaceae*) Crop Ecosystem / M. Sarwar // International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences. – 2013. - vol. 1 (5). – P. 78 – 84.

210. Satchell J.E. Lumbricidae / J.E. Satchell // Soil biology. Academic, London. – 1967. – P. 259 – 322.

211. Satchell J.E. Earthworm ecology from Darwin to vermiculture / J.E. Satchell // Chapman & Hall, London. – 1983. – P. 495.

212. Schonholzer F. Origins and fate of fungi and bacteria in the gut of *Lumbricus terrestris* L. studied by image and analysis / F. Schonholzer, D. Hahn, J. Zeyer // FEMS Microbiol Ecol. – 1999. – vol. 28. – P. 235 – 248.

213. Senesi N. Composted materials as organic fertilizers / N. Senesi // Sci Total Environ. – 1989. – vol. 81/82. – P. 521 – 542

214. Sherman R. Worms can recycle your garbage. AG-473-18 / R. Sherman // Cooperative Extension Service, Raleigh. – 1994.

215. Sherman R. Raising earthworms successfully / R. Sherman // North Carolina Cooperative Extensive Service, Raleigh. – 2003.

216. Simsek-Ersahin Y. Vermicompost from agricultural wastes suppress *Rhizoctonia Solani Kuhn* in cucumber seedlings / Y. Simsek-Ersahin, K. Haktanir, Y. Yanar // J Plant Dis Prot. – 2009. – vol. 116. – P. 182 – 188.

217. Sims R. W. Earthworms. Keys and notes for the identification and study of the species / R.W Sims, B. M. Gerard // Brill Archive. – 1985. – P. 171.

218. Singh N.B. Optimum moisture requirement during vermicomposting using *Perionyx excavates* / N.B. Singh, A.K. Khare, D.S. Bhargava, S. Bhattacharya // App. Ecol. Environ. Res. – 2004. – vol. 2(1). – P. 53–62.

219. Singh A. Composting of a crop residue through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting / A. Singh, S. Sharma // Bioresource Technology. – 2002. – vol. 85, no. 2. – P. 107 – 111.

220. Sinha R.K. Vermiculture and waste management: study of action of earthworms *Eisenia foetida*, *Eudrilus euginae* and *Perionyx excavatus* on biodegradation of some community wastes in India and Australia / R.K. Sinha // Environmentalist. – 2002. – vol. 22. – P. 261–268

221. Sinha R.K. The wonders of earthworms and its vermicompost in farm production: Charles Darwin's friends of farmers, with potential to replace destructive chemical fertilizers from agriculture / R.K. Sinha, S. Agarwal, K. Chauhan, D. Valani // The Journal of Agricultural Science. - 2010a. – vol. 1. – P. 76 – 94. DOI: 10.4236/ as.2010.12011

222. Sinha R.K. Vermistabilization of sewage sludge (biosolids) by earthworms: Converting a potential biohazard destined for landfill disposal into a pathogen-free, nutritive and safe biofertilizer for farms / R.K. Sinha, S. Herat, G. Bharambe, A. Brahambhatt // Waste Management & Research. – 2010b. – vol. 28. – P. 872 – 881. DOI: 10.1177/0734242X09342147

223. Singleton D.R. Identification of uncultured bacteria tightly associated with the intestine of the earthworm *Lumbricus rubellus* (*Lumbricidae*; *Oligochaeta*) / D.R. Singleton, P.F. Hendrix^b, D.C. Coleman^b, W.B. Whitman^a //

Soil Biology and Biochemistry. – 2003. – vol. 35. – P. 1547 – 1555. DOI: 10.1016/S0038-0717(03)00244-X

224. Sivakumar S. Efficiency of composting parthenium plant and neem leaves in the presence and absence of an oligochaete, *Eisenia fetida* / S. Sivakumar, H. Kasthuri, D. Prabha, K.S. Senthil, C.V. Subbuharam, Y.C. Song // Iran J. Environ. Health Sci. Eng. – 2009. – vol. 6 (3). – P. 201 – 208.

225. Stewart A. The Earth Moved: On the Remarkable Achievements of Earthworms / A. Stewart // Algonquin Books. – 2004. – P. 240.

226. Suthar S. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*) / S. Suthar, S. Singh // International Journal of Environment Science and Technology. – 2008. – vol. 5, no. 1. – P. 99 – 106.

227. Suthar, S. Potential utilization of guar gum industrial waste in vermicompost production / S. Suthar // Bioresource Technology. – 2006. – vol. 97. - no. 18. – P. 2474–2477.

228. Suthar S. Impact of vermicompost and composted farmyard manure on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) field crop / S. Suthar // Int J Plant Product. – 2009. – vol. 3. – P. 27–38.

229. Suthar S. Development of a novel epigeic-anecic-based polyculture vermireactor for efficient treatment of municipal sewage water sludge / S. Suthar // Int J Environ Waste Manage. - 2008. – vol. 2. – P. 84–101.

230. Suthar S. Production of vermifertilizer from guar gum industrial waste by using composting earthworm *Perionyx sansibaricus* (Perrier) / S. Suthar // Environmentalist. – 2007. – vol. 27. – P. 329–335.

231. Suthar S. Vermicomposting of toxic weed d Lantana camara biomass: chemical and microbial properties changes and assessment of toxicity of end product using seed bioassay / S. Suthar, P. Sharma // Ecotoxicol. Environ. Saf. – 2013. – vol. 95. – P. 179 – 187.

232. Subler S. Comparing vermicomposts and composts / S. Subler, C.A. Edwards, J. Metzger // BioCycle. – 1998. – vol. 39. – P. 63 – 66.
233. Szczech M. Supressiveness of vermicompost against Fusarium wilt of tomato / M. Szczech // J Phytopathol. - 1999. – vol. 147. – P. 155–161.
234. Talashilkar S.C. Changes in chemical properties during composting of organic residues as influences by earthworm activity / S.C. Talashilkar, P.P. Bhargarath, V.B. Mehta // J. Indian Soc. Soil Sci. – 1999. – vol. 47. – P. 50–53.
235. Tauseef S.M. HEVSPAR: a novel vermireactor system for treating paper waste / S. M. Tauseef, T. Abbasi, D. Banupriya, V. Vaishnavi, S.A. Abbasi // Off. J. Pat. Off. – 2013. – vol. 24. – P. 12726.
236. Tauseef S. M. A new machine for clean and rapid separation of vermicast, earthworms, and undigested substrate in vermicomposting systems / S. M.Tauseef, T. Abbasi, Tasneem, G. Banupriya, D. Banupriya, S. A. Abbasi // J Environ Sci Eng. – 2014. – T. 56. – №. 4. – P. 495 – 498.
237. Tejada M. Application of two vermicomposts on a rice crop: effects on soil biological properties and rice quality and yield / M. Tejada, J.L. Gonzalezb // Agron J. – 2009. – vol. 101. – P. 336–344.
238. Tomati U. Effects of earthworm casts on protein synthesis in radish (*Raphanus sativum*) and lettuce (*lactuca sativa*) seedlings / U. Tomati, E. Galli, A. Grappelli // Biol Fertil Soils. – 1990. – vol. 9. – P. 288 – 289.
239. Tomati U. The presence of growth regulators in earthworm-worked wastes / U. Tomati, A. Grappelli, E. Galli // On earthworms. Selected symposia and monographs 2. Mucchi Editore, Modena. – 1987. – P. 423–436.
240. Tomati, V. Fertilizers from vermiculture—an option for organic wastes recovery / V. Tomati, A. Grappel, E. Galli, W. Rossi // Agrochimica. – 1983. – vol. 27, no. 2-3. – P. 244–251.
241. Tomlin, A. D. Development and fecundity of the manure worm, *Eisenia foetida* (Annelida: Lumbricidae), under laboratory conditions / A. D. Tomlin, J. J.

Miller // Soil Biology as Related to Land Use Practices. Office of Pesticides and Toxic Substances, EPA, Washington, D.C. – 1980. – P. 673–678.

242. Toyota K. Microbial community indigenous to the earthworm *Eisenia fetida* / K. Toyota, M. Kimura // Biol Fertil Soils. – 2000. – vol. 31. – P. 187–190

243. Tripathi G. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg) / G. Tripathi, P. Bhardwaj. // Bioresource Technology. – 2004. – Vol. 92. – Is. 3. – P. 275– 283.

244. Urquhart A. T. On the Work of Earth-worms in New Zealand / A. T. Urquhart. – 1887.

245. Vadiraj B.A. Response of coriander (*Coriandrum sativum* L.) cultivars to graded levels of vermicomposts / B.A. Vadiraj, Siddagangaiah, S.N. Potty // Journal of Spices and Aromatic Crops. – 1998. – vol. 7. – P. 141 – 143.

246. Venkatesh R. M. Mass reduction and recovery of nutrients through vermicomposting of fly ash / R. M. Venkatesh, T. Eevera // Applied Ecology and Environmental Research. – 2008. - vol. 6. – P. 77–84.

247. Vermi Co. Vermicomposting technology for waste management and agriculture: An executive summary [Internet]. Available from: <http://www.vermico.com/summary.htm> [Accessed: 12 February 2020]. – 2001.

248. Vivas A. Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure and microbial functional diversity of an olive-mill waste / A. Vivas, B. Monero, S. Garcia-Rodriguez, E. Benitez // Bioresour Technol. – 2009. – vol. 100. – P. 1319–1326.

249. Watanabe H. Seasonal changes in size class and stage structure of *Lumbricid Eisenia foetida* population in a field compost and its practical application as the decomposer of organic waste matter, Rev / H. Watanabe, J. Tsukamoto // Ecol. Biol. Sol. – 1976. – vol. 13. – P. 141–146.

250. Wilson, D.P. Plant growth in potting media containing worm-worked duck waste / D.P. Wilson, W.R. Carlile // *Acta Horticulturae*. - 1989. – vol. 238. – P. 205 – 220.

251. Yadav A. Industrial wastes and sludges management by vermicomposting / A. Yadav, V.K. Garg // *Reviews in Environmental Science and Bio. Technology*. – 2001. – vol. 10. – P. 243–276.

252. Yardim E.N. Suppression of populations of hornworms (*Manduca quinquemaculata*) and cucumber beetles (*Acalymma vittatum* and *Diabotrica undecimpunctata*) and damage to them by vermicompost / E.N. Yardim, N.Q. Arancon, C.A. Edwards, T.O. Oliver, R. Byrne // *Pedobiologia*. – 2006. – vol. 50. – P. 23 – 29.

253. Yardim, E.N. Effects of organic and synthetic fertilizer sources on pest and predatory insects associated with tomatoes / E.N. Yardim, C.A. Edwards // *Phytoparasitica*. – 2003. – vol. 31. – P. 324–329.

254. Zaller J.G. Foliar spraying of vermicompost extracts: effects on fruit quality and indications of late-blight suppression of field-grown tomatoes / J.G. Zaller // *Biol Agric Hortic*. – 2006. – vol. 24. – P. 165–180.

255. Zhang B.G. Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia foetida* / B.G. Zhang, G.T. Li, T.S. Shen, J.K. Wang, Z. Sun // *Soil Biol Biochem*. – 2000. – vol. 32. – P. 2055–2062.