НАЗВАНИЕ СЕКЦИИ (направление) Экология
ТКАЧ Денис Сергеевич
Краснодарский край, г. Сочи
МОБУ СОШ № 49 им. Н.И.Кондратенко, 8 А класс

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМИТОВ KALOTERMES FLAVICOLLIS КАК ПОМОЩНИКОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПЕНЬКОВ И ДРУГИХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ

Научные руководители: Стовпец Юлия Александровна, учитель биологии и химии,
Гросс Александра Ивановна, зам. директора по НИР МОБУ СОШ № 49 им. Н.И.Кондратенко, г. Сочи

Введение

Актуальность проекта: Опад древесных растений как источник органического вещества почв и элементов питания для биоты выступает в роли связующего звена между растениями верхних ярусов леса и почвой и является одним из ключевых компонентов биогеохимических циклов в лесных биогеоценозах.

Более 25 млн кубометров неперерабатываемых древесных отходов ежегодно формируется в России, такую статистику озвучила вице-премьер Правительства РФ Виктория Абрамченко, ссылаясь на экспертные данные. Статистика известна давно: 40% отходов формируются при лесозаготовке, 25-40% - при деревообработке, а перерабатываются они лишь частично. Более половины всех отходов остаются лежать на земле.

Не все отходы могут быть использованы для переработки из-за существующих технологических ограничений. Пни, ветви, древесная зелень встречаются брошенными на отработанных лесных делянках. Кусковые отходы в виде горбыля, порубочных остатков, коры формируют целые свалки, о борьбе с которыми все чаще говорят на уровне Правительства РФ.

Разлагающаяся древесина загрязняет леса и влияет на глобальный круговорот углерода, поскольку является крупным его хранилищем. Накопление древесной биомассы зависит в том числе от скорости разложения ее организмами, которая меняется вместе с климатом.

Решением этой проблемы может стать контролируемое разведение колоний термитов, которое позволит утилизировать непригодные для других видов переработки отходы, превратив их в компост, а также снизить количество вырубаемых деревьев, увеличить

количество выделяемого ими кислорода, в котором нуждаются все живые существа на планете.

Исследования в области биологии и экологии могут привести к разработке инновационных методов утилизации органических отходов и восстановлению биосферы. В данном исследовании мы ориентируемся на использование термитов Kalotermes flavicollis для разлагания древесных остатков. Деревянные пеньки и другие остатки после вырубки деревьев представляют собой серьезную экологическую проблему, так как их разложение занимает длительное время и сопровождается выделением парниковых газов. В данной работе рассматривается возможность использования термитов Kalotermes flavicollis для ускорения процесса разложения этих остатков.

Цель проекта: Изучение возможности использования термитов Kalotermes flavicollis как помощников для экологически чистого разложения пеньков и других древесных остатков

Задачи проекта:

1. Изучить теоретический материал по теме исследования
2. Вырастить колонию термитов Kalotermes flavicollis в контролируемых условиях
3. Проанализировать результаты исследования

Гипотеза: Выращенные в контролируемых условиях колонии термитов Kalotermes flavicollis способны ускорить процесс разложения древесных пеньков, их деятельность снизит негативное воздействие пеньков на окружающую среду. Эта гипотеза основана на предположении, что термиты разлагают древесину с высокой эффективностью, и можно создать условия для ускорения их деятельности.

ЧАСТЬ 1. Теоретические аспекты изучения возможности использования термитов Kalotermes flavicollis как помощников для экологически чистого разложения пеньков и других древесных остатков

Теоретическая часть исследования включала в себя изучение биологических особенностей данного вида термитов, который преимущественно обитает в древесине различных деревьев, что позволяет им стать перспективными кандидатами для разложения древесных остатков в природной среде.

В наши дни термиты играют важную роль в разложении мертвых деревьев в теплых широтах России в целом, и в Краснодарском крае в частности. Детритофаги и деструкторы, участвующие в процессе разложения древесины (рис.1)

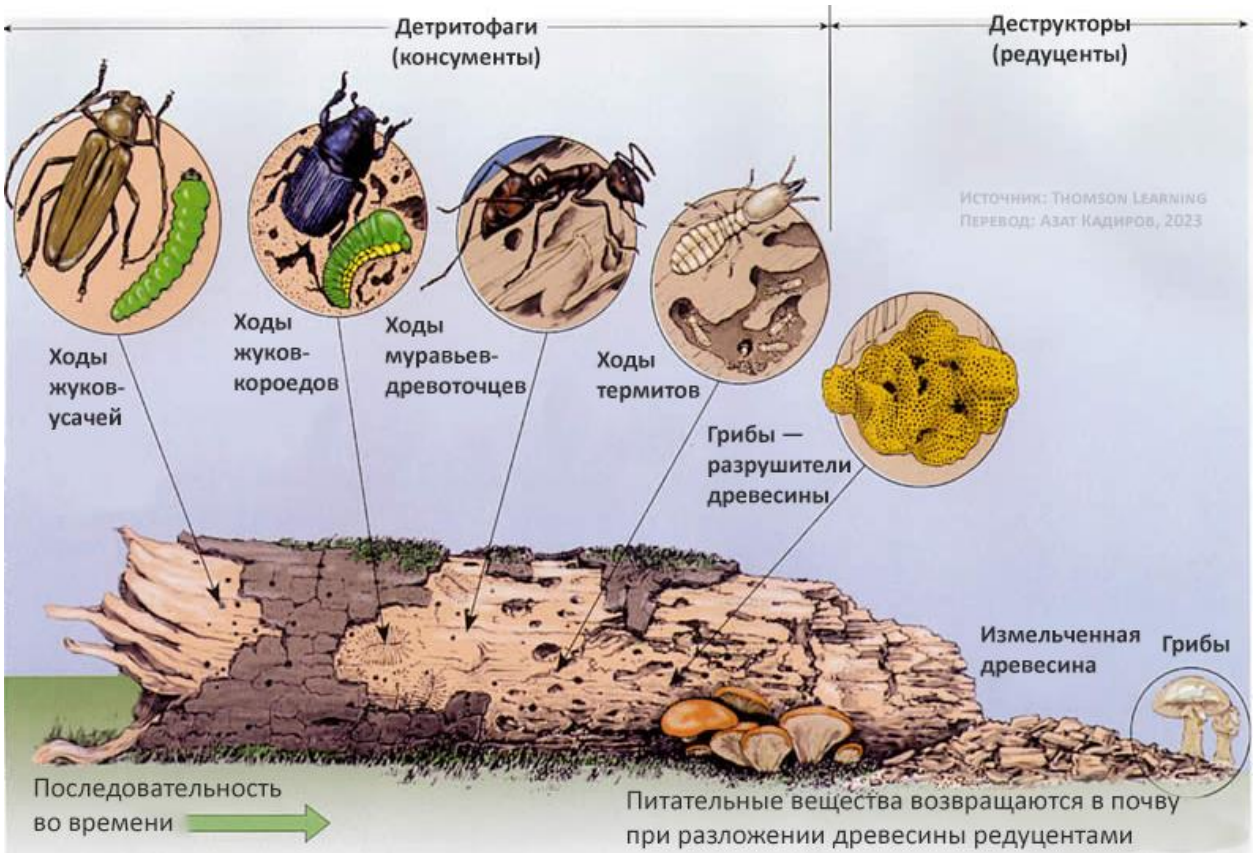

Рис. 1 Разложение древесины в природе

Термит желтошеий, или термит желтогрудый, или термит желтоусый (лат. Kalotermes flavicollis) — вид термитов рода Kalotermes из семейства Kalotermitidae (рис.2, таб.1). Встречается в основном в прибрежных странах Средиземноморья от Испании и Италии до Грузии и южной России. Гнёзда строит в засыхающей и отмирающей части деревьев. Термиты — древние насекомые, родственные тараканам. В отличие от тараканов, они ведут общественный образ жизни: строят гнёзда, совместно ухаживают за потомством и распределяют обязанности среди членов семей.

Рис. 2 Kalotermes flavicollis

Таблица 1. Kalotermes flavicollis, крылатая имаго

Научная классификация	
Царство:	Animalia
Тип:	Arthropoda
Subphylum:	Hexapoda
Класс:	Insecta
Надотряд:	Dictyoptera
Отряд:	Blattodea
Семейство:	Kalotermitidae
Род:	Kalotermes
Виды:	K. flavicollis
Биномиальное название	
Kalotermes flavicollis . (Fabricius, 1793)	

Существует четыре касты этих термитов, нимфы (размер варьируется от 4 до 6 мм, цвет белый или кремовый), личинки (полупрозрачные и мельче нимф), воины (беловатые, с выступающими коричневыми головами и сильными челюстями, длиной около 8 мм) и

размножающиеся взрослые особи. Kalotermes flavicollis не имеет особой касты взрослых рабочих, поскольку все задачи в колонии выполняются нимфами.

Взрослые особи достигают 8–10 миллиметров (0,31–0,39 дюйма) в длину, с размахом крыльев около 20 миллиметров (0,79 дюйма). Основная окраска их тела бледно-желтая или темно-коричневая. переднеспинка желто-оранжевого цвета (отсюда латинское название flavicollis, что означает «желтошейка»), а усики и дистальные части ног бледно-желтые. Самец (король) и самка (королева) имеют более хитиновое тело, а также две пары перепончатых крыльев, длинные, узкие и слегка дымчатые, необходимые для брачного полета. Крылья держатся горизонтально, перекрывая брюшко, когда насекомое находится в покое, так что видно только одно крыло. Самки в среднем немного крупнее самцов.

Жизненный цикл

Брачный полет самцов и самок, как плодородных, так и крылатых, происходит предпочтительно в течение ночи с середины июля до октября, когда они роятся, образуя новые колонии. После спаривания они теряют крылья и строят новую колонию, состоящую из «королевской пары» (короля и королевы) и примерно от 1000 до 2000 особей.

Среда обитания

Этот средиземноморский вид встречается в основном недалеко от морского побережья при более высоких температурах. Поскольку термиты ксилофаги, их колонии обычно живут в корнях или стволах старых деревьев, роют туннели и питаются древесиной. Kalotermes flavicollis - исключительно суходревесные термиты. В почве своих гнезд не строят, в отличии от универсальных люцифугусов, которые легко могут гнездиться во влажной почве, а корма искать в округе. Выбирают твердые породы древесины: бук, дуб, граб. Гнездятся в отмирающих частях. В природе семьи Kalotermes flavicollis достигают 1000-2000 особей.

Вид был впервые описан в 1793 году датским энтомологом Иоганном Христианом Фабрицием (J. Ch. Fabricius) под названием Termes flavicolle Fabricius, 1793 [2, 11].

В 1856 году был перенесён в состав рода Kalotermes, который потом несколько десятилетий носил сходное, но иное название Calotermes, а вид соответственно именовался Calotermes flavicollis (Fabricius, 1793). Позднее специальным решением Международной комиссии зоологической номенклатуры желтошеий термит был обозначен типовым видом рода Kalotermes [16,17].

Для Kalotermes flavicollis также характерен так называемый обратный метморфоз. Если условия обитания становятся плохими, то рабочие и солдаты начинают линять и отходят на более ранние формы, из которых впоследствии перерождаются в крылатых.

Потом новое крылатое поколение разлетается, чтобы расселить гены колонии в более подходящих условиях. Они очень разборчивы в пище. (рис. 3).

Гнёзда располагаются в сухих ветвях, стволах или пнях деревьев, таких как дуб, бук, липа, клён, сосна, кипарис, кизил, каштан, слива, виноград и многих других древесных видов. Живые деревья термиты не трогают. На средиземноморском побережье и отрогах Кавказского хребта термиты заселяют отмирающие части деревьев на южных прогреваемых Солнцем склонах. Диаметр прогрызаемых термитами ходов от 5 до 10 мм. Некоторые гнёзда находили на вершине деревьев на высоте около 15 м [2].

Лёт крылатых самок и самцов начинается в конце июля и наблюдается до сентября в хорошую погоду и при температуре воздуха около 30°С. Часть термитов (нимфы и другие) погибают при охлаждении до температуры ниже 8°С. Новые семьи основывает пара молодых имаго после брачного лёта. Самец и самка сбрасывают крылья, совместно ищут укрытие в трещинах древесины и выгрызают там первую гнездовую «брачную» камеру. Там они спариваются и спустя пару недель самка откладывает первые яйца. Развитие различных каст у термитов очень сложное и оно давно привлекало внимание исследователей.

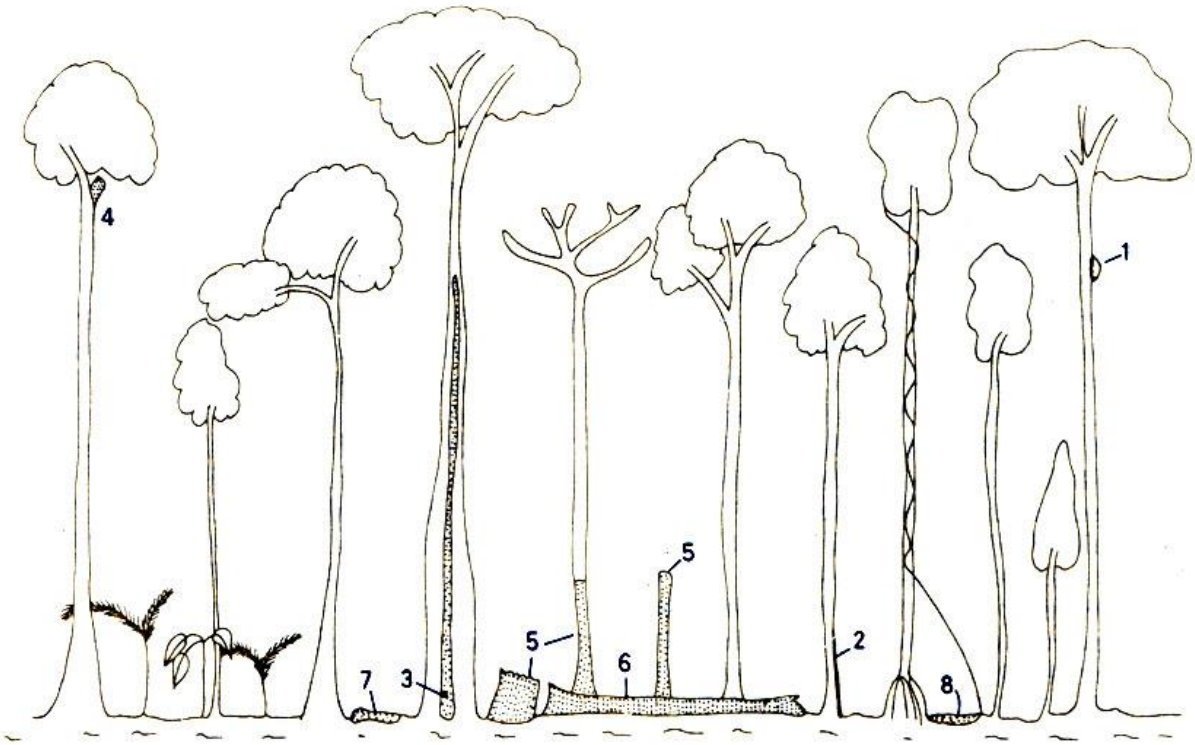

Рис..3. Места, где термиты потребляют древесину, 1 - гнезда вокруг стволов; 2 - поверхности вблизи оснований деревьев; 3 - центральная часть ствола; 4 - отмершие ветки живых деревьев; 5 - пни или неповалившиеся высохшие деревья; 6 - повалившиеся стволы; 7 - опавшие ветки; 8 - гумус в почве. (Abe, 1979.)

Первые гипотезы, объясняющие этот процесс у K. flavicollis появились ещё в 1890-е годы в работах итальянского зоолога Джованни Грасси (получившего Медаль Дарвина за работы по термитам) и немецкого энтомолога Карла Эшериха[en] (1871—1951). Однако, достоверно изучить эти процессы удалось только в середине XX века после создания технологии искусственного культивирования термитов, а K. flavicollis стал распространённым лабораторным объектом. Первые такие наблюдения проводились крупным французским зоологом Пьером Грассе (1895—1985). Из яиц вылупляются личинки, которые проходят пять возрастов, превращаясь затем в псевдоэргат, дополнительных половых особей или в просолдат. Псевдоэргаты K. flavicollis могут превратиться в просолдат, дополнительные половые особи или в нимф. Нимфы могут развиваться далее в имаго, просолдат или в дополнительные половые особи. Солдаты развиваются из просолдат. Дополнительные имаго («заместители») в материнских семьях могут развиваться из личинок, молодых нимф или из псевдоэргат в случае отсутствия в семье функционирующих половых особей. [5, 6, 7].

Роль королевы желтошеего термита (яйцекладущей самки-основательницы) в зрелой колонии сводится к воспроизводству потомства и выделению феромонов. Исследование этограмм самки и самца показало, что король (самец-основатель) демонстрирует более высокую подвижность и активность в жизни семьи. У самца наблюдалась наибольшая частота движений в гнезде, вибрационные акты, а также вдвое более высокая, чем у королевы частота и диапазон социальных контактов. В дополнение к его естественной важности для периодического осеменения королевы, он также играет важную роль в поддержании социальной структуры и динамического развития колонии как «посредник» в социальных взаимодействиях между королевой и другими членами колонии. Он постоянно перемещается по внутригнездовым камерам и туннелям, вступает в контакты с соплеменниками через социальный груминг, прикасания усиками и трофаллаксис [8].

Наименее активными в термитниках отмечена каста солдат, а также король и королева. Наблюдения, проведённые в лабораторных гнёздах, показали, что солдаты проводят более 65 % времени в покое и не совершают никаких действий (нимфы и псевдоэргаты находятся в покое менее 50 % времени, король до 70 %, а королева более 80 %). Груминг и уход за собой занимает у солдат менее одного процента времени, в то время как груминг у нимф и псевдоэргатов занимает около 5 % времени, а у молодых половых особей до 10 %. Вибрационные движения телом составляют 5 % времени наблюдения у солдат и псевдоэргатов, но около 10 % у нимф [9].

Когда в лабораторных гнёздах группа псевдоэргатов или нимф K. flavicollis отделяется от солдат (в природе это равносильно боевым их потерям), некоторые из них в ходе очередной линьки дифференцируются в солдат. Этот процесс проходит с гораздо большей частотой, когда в колонии присутствуют репродуктивные особи, но эффект их влияния различается в зависимости от того, присутствуют ли в гнезде один король, одна королева, или их пара. Эффект наличия репродуктивных особей от максимального к минимальному можно оценить следующим образом: разнополая пара репродуктивных термитов > две королевы = одна королева = два короля > один король. Влияние одного короля очень мало; с другой стороны, влияние двух самцов значительнее и похоже на сумму влияний, оказываемых каждым из них в отдельности. Влияние только одной королевы также значительно, но присутствие второй королевы не увеличивает частоту дифференциации солдат.

Максимальный стимулирующий эффект оказывает пара репродуктивных особей (король и королева) и соответствует сумме действий, которые независимо оказывают король и королева [10].

На Черноморском побережье Кавказа K. flavicollis встречается почти исключительно в лесах, имеет ограниченный ареал и сравнительно невысокую численность. В отечественной литературе нет сведений о вредной деятельности этих термитов. Наоборот, указывается на полезную их роль как санитаров леса, ускоряющих разложение мертвой древесины. [18]

Древесина - это в основном смесь целлюлозы и лигнина, находящихся на разных стадиях разложения. Целлюлоза - полимер глюкозы, а лигнин - полимер, состоящий из фенилпропановых единиц, образующихся из коричных спиртов. Соотношение лигнин/целлюлоза варьирует у разных видов в пределах от 0,4 до 0,8. Kalotermes flavicollis, принадлежащий к примитивному семейству Kalotermitidae, переваривает 70-90% всей целлюлозы, тогда как Лигнин переваривается гораздо хуже: не более одной трети у Kalotermes flavicollis (La Fage, Nutting, 1978; Lee, Wood, 1971; Wood, 1978).

Мягкие ткани термиты предпочитают твердым (Wood, 1978); важное значение имеет также стадия разложения (рис. 4). Выделения грибов могут либо привлекать, либо отпугивать термитов в зависимости от их вида (Sands, 1969); при этом грибы иногда способны разрушать такие отпугивающие насекомых вещества, как скипидар. Привлекательность древесного метериала для термитов зависит также от его величины. Большинство видов, питающихся древесиной, не трогают живые деревья, а многие явно

предпочитают либо сухую древесину (Kalotermitidae и др.), либо влажную (например, Termopsinae, сем. Hodotermitidae).

Значение термитов в процессах разложения растительных остатков очень велико. Они способны перерабатывать большую массу органического материала. Содержание гумуса в термитниках в 1,5-4 раза выше, чем в гумусовых горизонтах окружающих почв, а реакция среды ближе к нейтральной на 0,5-1,0 единицы. Поедая опад и свои же экскременты, термиты участвуют в процессах гумификации.

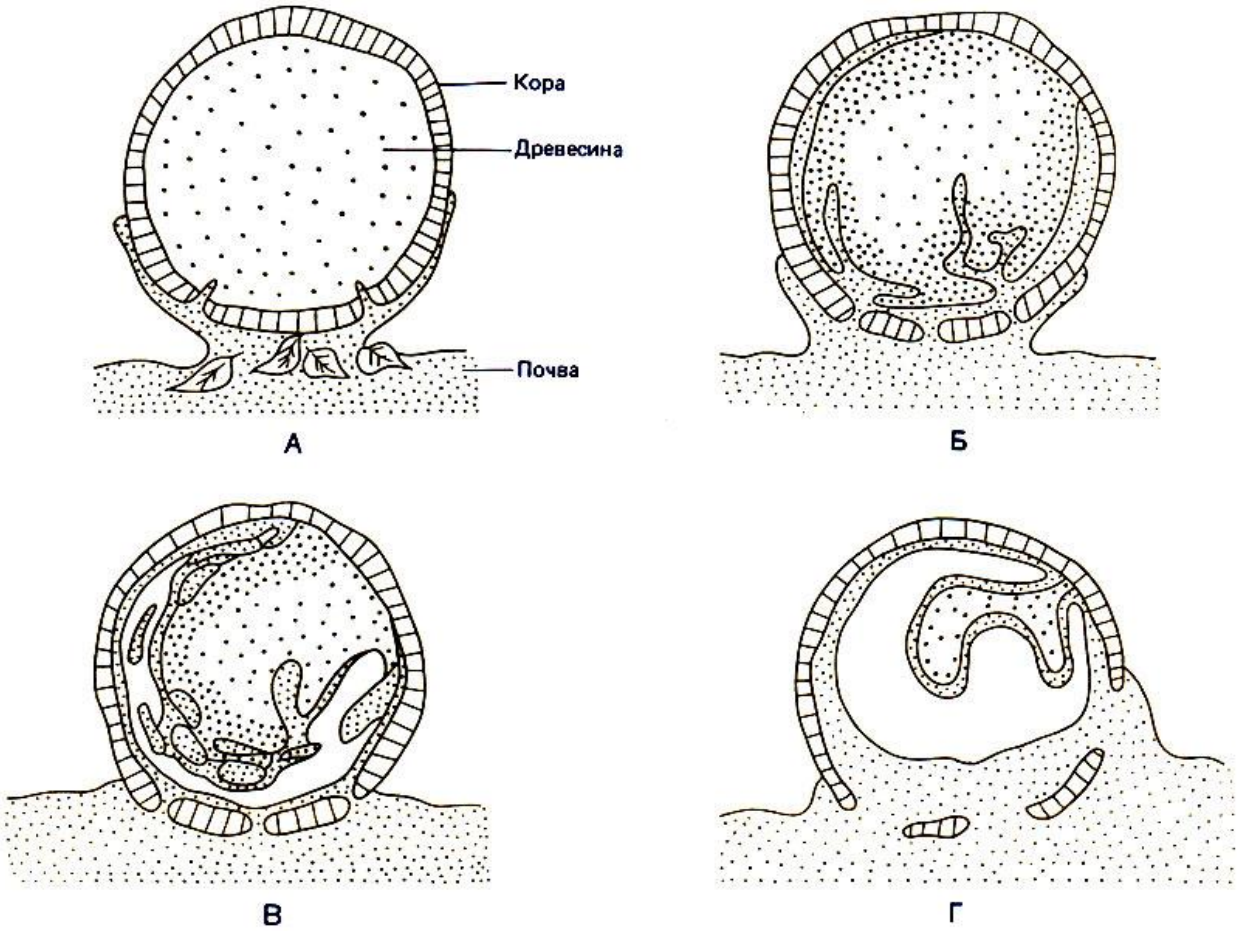

Рис. 4. Стадии разложения бревна. А. Термиты проникают через ходы, проделанные жуками, собирают почву и прилепляют ее к нижней поверхности бревна. Б. Термиты проделывают в бревне галереи и приносят дополнительные количества почвы. В. Галереи расширяются, превращаясь в камеры, и бревно начинает погружаться в почву. Г. Бревно разрушается, термиты начинают покидать его, и оно разваливается. (Abe, 1980.)

Для переваривания целлюлозы термиты вступают в симбиоз с микроорганизмами, живущими в пищеварительной системе насекомых. Среди кишечных симбионтов желтошеего термита отмечены простейшие (Protozoa) Foaina dogieli, Foaina grassii (Devescovinidae, Polymastigida), Tricercomitus divergens (Monocercomonadidae),

Microrhopalodina inflata (Oxymonadidae), Eulophomonas calotermitis, Joenia annectens, Mesojoenia decipiens (Trichonymphidae, Hypermastigida, Парабазалии) [11].

В выростах задней кишки у всех термитов обитают микроорганизмы, помогающие им переваривать пищу. У представителей наиболее примитивных семейств (Kalotermitidae, Hodotermitidae и Rhinotermitidae) облигатные симбионты - жгутиковые простейшие - осуществляют внутриклеточное переваривание пищи. Задняя кишка термитов выстлана кутикулой, которая периодически сбрасывается, но благодаря тому, что особи обмениваются между собой пищей, реинокуляция обеспечена. Это одно из важных преимуществ общественного образа жизни термитов.

Исследователей давно занимал вопрос: как термиты справляются с разложением клетчатки (ведь это всегда считалось прерогативой бактерий и грибов!) и как они вообще могут обходиться столь малопитательным кормом? Долгое время считалось, что в переработке клетчатки термитам помогают простейшие — представители особой группы жгутиконосцев, которые обитают в кишечнике термитов. Но позднее выяснилось, что жгутиконосцы сами нуждаются в помощи эндосимбионтов — живущих в их клетках бактерий (эндосимбионт подразумевает «живущий в клетке»), которые и вырабатывают целлюлазу — фермент, разлагающий целлюлозу.

Таким образом, вся эта симбиотическая система устроена по принципу матрешки: в кишечнике термита живут жгутиконосцы, а внутри жгутиконосца — бактерии. Термиты находят пищу (растительные остатки или деревянные постройки), измельчают древесную массу и доводят ее до мелкодисперсного состояния, в котором ее могут поглощать жгутиконосцы. Затем за дело берутся живущие внутри жгутиконосца бактерии, которые и проводят основные химические реакции по переработке исходно малосъедобного продукта во вполне усвояемую форму.

Однако многое в этой системе оставалось неясным. К примеру, неизвестно было, откуда термиты черпают необходимый им азот (а его относительное содержание в телах животных, в том числе — термитов, существенно выше, чем в растительных тканях). Однако недавние исследования японских ученых позволили ответить на этот вопрос.

Объектом исследования Юити Хонго (Yuichi Hongoh) и его коллег из Исследовательского института РИКЕН в Сайтаме (RIKEN Advanced Science Institute, Saitama) и других научных учреждений Японии стала симбиотическая система массового в Японии термита Coptotermes formosanus.

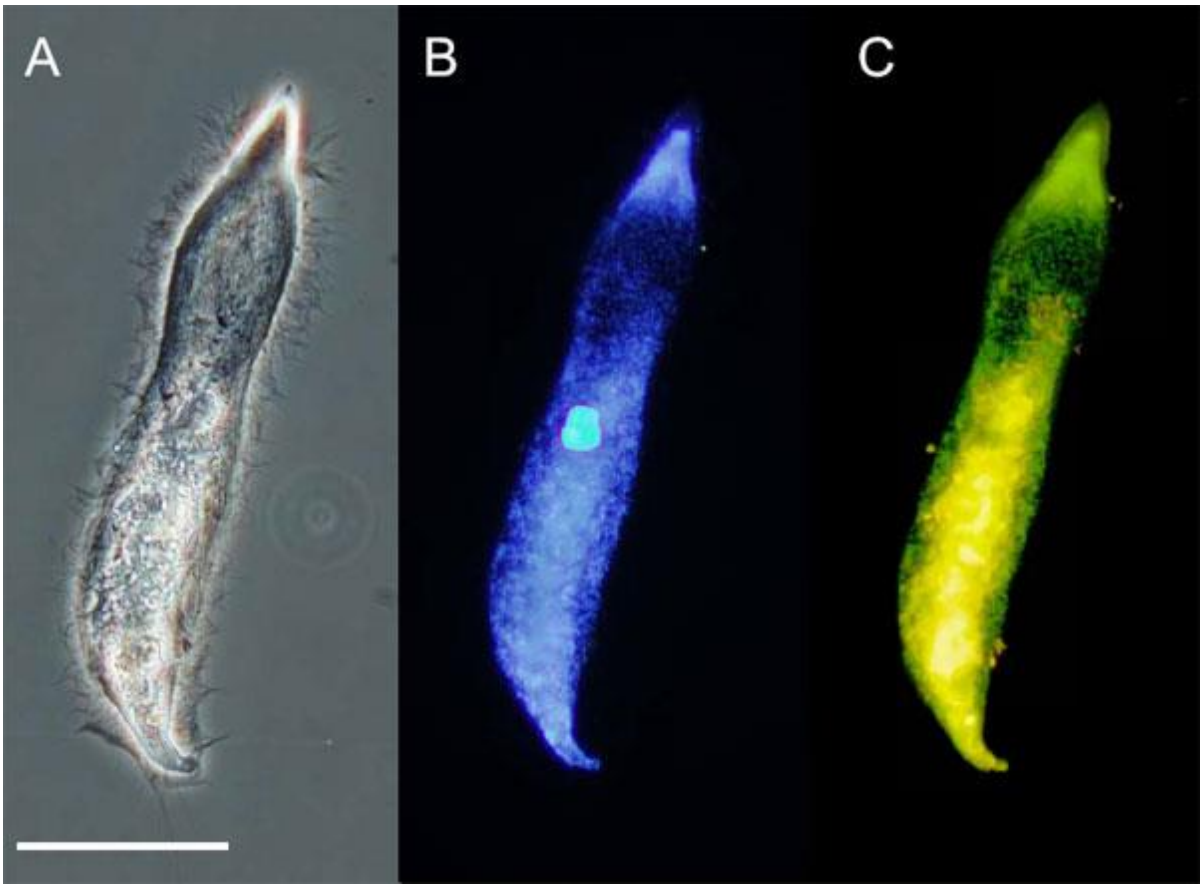

Рис.5 Pseudotrichonympha grassi — представитель симбиотических простейших (особой группы жгутиковых — гипермастигин), обитающих в кишечнике термита.

А — под микроскопом в фазовом контрасте.

В — то же при окраске люминесцентным красителем, выявляющим ядро.

С — то же при использовании метода FISH (fluorescence in situ hybridization); зеленым цветом выделяются бактерии — внутриклеточные симбионты простейших, желтым — масса перерабатываемой древесины. Длина масштабной линейки 100 мкм.

Обитающие в заднем отделе кишечника термита жгутиконосцы Pseudotrichonympha grassii относятся к роду, представители которого часто встречаются у разных термитов, ведущих подземный образ жизни. В каждом жгутиконосце постоянно обитают около 100 тысяч бактерий, относящихся к отряду Bacteroidales и имеющих условное название «phylotype CfPt1-2». В ходе работы жгутиконосцев извлекали из кишечника термита, разрушали мембраны их клеток и высвобождали из каждого по 103–104 клеток эндосимбиотических бактерий. Полученную массу бактерий подвергали амплификации (увеличению числа копий имеющихся там молекул ДНК), после чего проводили поиск определенных последовательностей генов. В кольцевой хромосоме, содержащей 1 114 206 пар оснований, были выявлены 758 последовательностей, предположительно кодирующих белки, 38 генов транспортной РНК и 4 гена рибосомальной РНК. Обнаруженная

совокупность генов позволила реконструировать в общих чертах всю систему метаболизма эндосимбиотической бактерии Схема, показывающая систему симбиотических взаимоотношений внутри клетки жгутиконосца Pseudotrichonympha grassii, живущего в кишечнике термита Coptotermes formosanus. Наружный контур — просвет заднего отдела кишечника термита; голубой овал — клетка жгутиконосца; желтым цветом внутри жгутиконосца показана симбиотическая бактерия (CfPt1-2 symbiont). Частицы древесины из кишечника термита заглатываются простейшим и находятся далее в пищевой вакуоли (food vacuole), где и происходит лизис целлюлозы и гемицеллюлозы. Моносахариды и водород, образующиеся при разложении целлюлозы, используются как источники энергии для азотфиксации (N2 fixation), которую проводят бактерии. Как выводятся соединения азота, пока неясно. (рис.6).

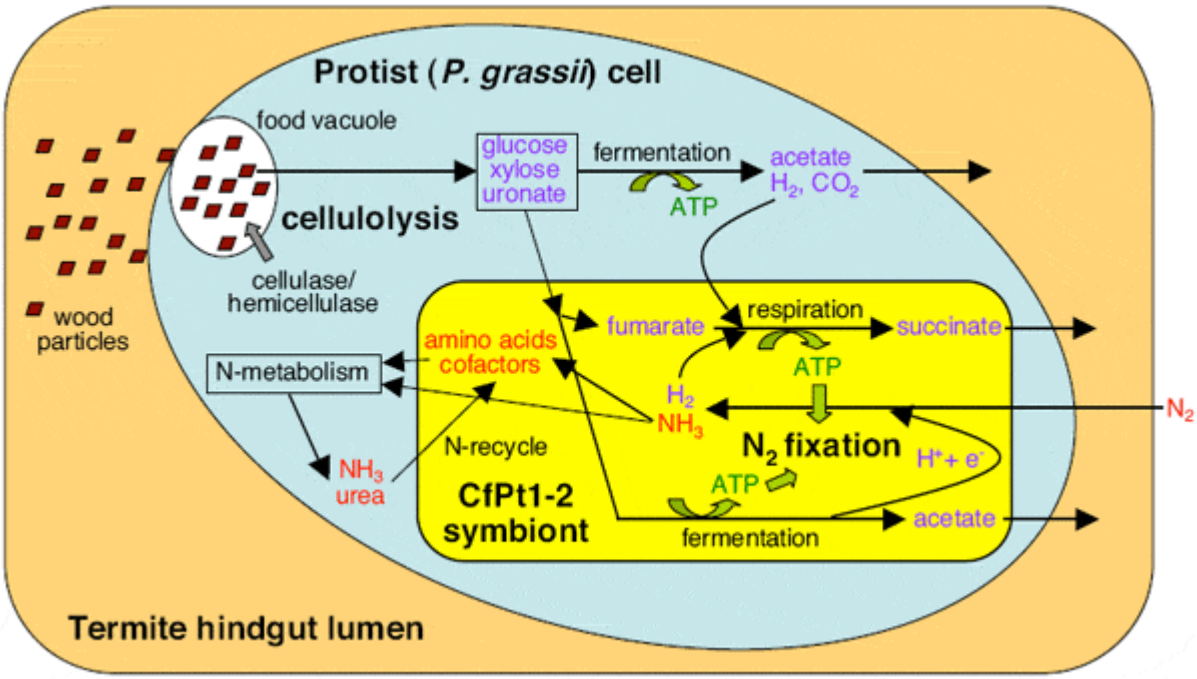

Рис. 6 Схема, показывающая систему симбиотических взаимоотношений внутри клетки жгутиконосца.

Самым поразительным стало обнаружение генов, ответственных за синтез тех ферментов, которые необходимы для азотфиксации (nitrogen fixation) — процесса связывания атмосферного N2 и превращения его в форму, удобную для использования организмом. В частности, нашлись гены, отвечающие за синтез нитрогеназы — важнейшего фермента, осуществляющего расщепление прочной тройной связи в молекуле N2, а также гены, кодирующие другие необходимые для азотфиксации белки.

Таким образом, изучив биологические особенности исследуемого вида термитов мы можем сделать вывод, что термиты Kalotermes flavicollis способны разлагать устойчивые и трудноразлагаемые древесные материалы. Что, в свою очередь, дает нам потенциальную

возможность использования специально выращенной колонии термитов при контролируемой численности популяции в целях разложения древесных остатков.

ЧАСТЬ 2. ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПО СОЗДАНИИ КОЛОНИИ ТЕРМИТОВ KALOTERMES FLAVICOLLIS В КОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ

Практическая часть исследования фокусируется на потенциальном использовании термитов Kalotermes flavicollis в качестве эффективных помощников для разложения древесных остатков, с целью снижения негативного воздействия человечества на окружающую среду. Был исследован процесс разложения пеньков и других древесных остатков, используя термитов Kalotermes flavicollis.

Я провёл серию экспериментов, включая выращивание колоний Kalotermes flavicollis в искусственных условиях в специальных контейнерах и питание их перечисленными видами древесины. Результаты исследования предоставляют информацию о скорости разложения древесных остатков, эффективности процесса, и потенциальных применениях этого метода в борьбе с проблемами утилизации древесных отходов.

Более того, результаты экспериментов показали, что при оптимальных условиях термиты Kalotermes flavicollis способны быстро развиваться и увеличивать количество особей, быстрее даже чем большинство видов муравьёв. Это происходит из-за особенностей их размножения. У таких видов муравьёв самцы после спаривания умирают, оставляя органическое вещество самке на всю жизнь, а у термитов же самец всю жизнь проживает с самкой, и его основная задача – своевременно оплодотворять её, что намного эффективнее и прогрессивнее, и может стать важным фактором при их использовании в масштабных процессах утилизации.

Также стоит отметить, что использование термитов Kalotermes flavicollis для разложения древесных отходов может иметь дополнительные экологические преимущества. Например, процесс разложения древесины термитами может осуществляться без выделения вредных веществ или создания отходов, что способствует сокращению негативного воздействия на окружающую среду.

Кроме того, исследование также показало, что термиты Kalotermes flavicollis могут быть эффективными в органическом внесении питательных веществ в почву. Их деятельность по разложению древесного материала может способствовать обогащению почвы органическим веществом и повышению ее плодородия.

Наконец, важно отметить, что дальнейшее исследование может помочь в определении других видов термитов, способных эффективно разлагать древесные остатки. Это может расширить спектр возможностей для утилизации древесных отходов и усилить

положительный вклад термитов в устойчивое использование ресурсов и борьбу с проблемами экологического воздействия.

Эта работа открывает новые перспективы для устойчивого управления органическими отходами, а также подчеркивает важность экологически чистых разрушителей, таких как термиты Kalotermes flavicollis, в экологически чистых процессах разложения древесных материалов, способствуя восстановлению биосферы и сокращению воздействия человека на окружающую среду.

Этапы работы:

1. Подготовка необходимого оборудования и контролируемой среды для выращивания колонии термитов.

2. Сбор информации о пищевых предпочтениях и поведении термитов Kalotermes flavicollis из вторичных источников.

3. Создание искусственных условий для размножения и выращивания колонии термитов.

4. Проведение эксперимента с использованием древесных пеньков и оценка скорости разложения.

Сбор данных о поведении и биологии термитов Kalotermes flavicollis осуществляется на основе существующих исследований и литературных источников. Важными данными являются их пищевые предпочтения и способы разложения древесины.

Термиты разлагают древесные остатки естественным путем, без использования химических веществ или искусственных процессов. Они обладают ферментами и микроорганизмами в своих кишечниках, которые помогают им расщеплять сложные полимеры в древесине на более простые соединения, тем самым, можно подчеркнуть, что этот процесс экологически чистый. Термиты представляют собой биологические организмы, которые естественным образом взаимодействуют с окружающей средой. Они играют важную роль в цикле разложения органического материала, превращая древесные остатки в питательный компост. Использование термитов для разложения древесных остатков позволяет снизить количество выбросов вредных веществ в окружающую среду. В отличие от некоторых других методов утилизации древесины, которые могут приводить к выбросам токсичных газов или загрязнению почвы, термиты разлагают древесные остатки без вредных последствий.

Термиты превращают древесные остатки в питательный компост, который в будущем будет улучшать плодородие почвы. Это способствует более устойчивому сельскому хозяйству и садоводству, а также снижает потребность в использовании химических

удобрений. В целом, использование термитов для разложения древесных остатков является экологически чистым и устойчивым подходом, который способствует сохранению окружающей среды и снижению негативного воздействия на нее. Термиты Kalotermes flavicollis известны своей способностью выживать в различных условиях, что делает их идеальными помощниками для проектов по утилизации древесных отходов.

Преимущества использования термитов Kalotermes flavicollis:

- Уменьшение объема древесных остатков.

- Получение питательного компоста, который в будущем будет улучшать плодородие почвы.

- Экономическая выгода за счет снижения затрат на утилизацию древесных отходов.

Для исследования были выращены колонии термитов в контролируемых условиях в специальных контейнерах. Древесные пеньки, вырезанные из различных видов деревьев (дуб, бук, сосна и др.), были добавлены в контейнеры. Проводилось исследования скорости разложения и активности термитов.

Рис. 7 Рабочие термиты, поедающие древесину

Рис. 8 Kalotermes flavicollis

Скорость разложения и потребления древесины термитами увеличивается более чем в 6,8 раза при повышении температуры на каждые 10°C, показало исследование, опубликованное в журнале Science. Для сравнения, микробное разложение древесины при таком же повышении температуры увеличивается только в два раза.

Результаты проведенной практической работы позволяют сделать вывод о применения термитов Kalotermes flavicollis в качестве эффективного средства для разложения древесных остатков в практических целях, что в свою очередь будет способствовать снижению негативного воздействия человеческой деятельности на окружающую среду и внедрению более экологически чистых методов утилизации древесных материалов. Термиты Kalotermes flavicollis способны ускорить процесс разложения древесных пеньков, особенно пеньков из древесины с низким содержанием лигнина. Это может считаться позитивным вкладом в решение экологических проблем, связанных с деревянными остатками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Упавшие деревья, пни, ветки, листовая подстилка и другие растительные остатки являются основными источниками запертого углерода - в общей сложности около 73 миллиардов тонн. Этот "валежник" участвует в круговороте углерода, в котором накопленные атомы углерода высвобождаются и повторно используются в окружающей среде. Этот процесс способствует росту новых растений и влияет на температуру и климат планеты, выбрасывая в атмосферу углекислый газ и метан. Существует множество факторов, вызывающих гниение древесины: от лесных пожаров до солнечной радиации, от микробов до грибков.

Исследование показало, что термиты Kalotermes flavicollis проявляют высокую активность и эффективность в разложении древесных остатков. Они активно питаются древесной целлюлозой и легко проникают в пеньки и другие древесные остатки.

В результате эксперимента было отмечено существенное ускорение процесса разложения древесных пеньков, а также значительное снижение выделения парниковых газов. Более того, в ходе исследования мы обнаружили, что использование термитов Kalotermes flavicollis имеет дополнительные экологические выгоды. В процессе своей деятельности они обогащают почву полезными элементами, такими как азот, фосфор и калий, что способствует еще большей реставрации биосферы вокруг места разложения древесных остатков.

Выводы исследования имеют потенциал для широкого применения в практике утилизации древесных остатков. Использование термитов Kalotermes flavicollis может стать эффективным и экологически чистым способом разложения пеньков и других древесных остатков, что позволит сэкономить ресурсы и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. В дальнейшем планируется расширить исследование, чтобы охватить различные виды древесины и провести подробные сравнительные анализы разложения.

Также будут изучены условия, которые могут существенно повлиять на активность термитов и эффективность процесса разложения. В целом, данное исследование показывает потенциал использования термитов Kalotermes flavicollis в экологически чистых процессах разложения древесных материалов. Это может привести к более устойчивому управлению органическими отходами и защите окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л. Майстрелло и Г. Сбренна - Частота некоторых моделей поведения в колониях Kalotermes flavicollis (Isoptera Kalotermitidae): важность социальных взаимодействий и вибрационных движений как механизмов социальной интеграции - Ethology Ecology Evolution 8: 365-375, 1996

2. Жужиков Д. П. Термиты СССР. — М.: Издательство Моск. ун-та, 1979. — С. 104—118. — 225 с.

3. Халифман И. А. Отступившие в подземелье. — М.: Детгиз, 1961. — 192 с. — (Школьная библиотека). — 30 000 экз.

4. Стриганова Б. Р., Захаров А. А. Пятиязычный словарь названий животных: Насекомые. Латинский, русский, английский, немецкий, французский / под ред. д-ра биол. наук, проф. Б. Р. Стригановой. — М.: РУССО, 2000. — С. 12. — 1060 экз. — ISBN 5-88721-162-8.

5. Messeri P., DiBattista M. S. Dispersal flight and dealation in Kalotermes flavicollis (Fabr.) (англ.) // Ethology Ecology and Evolution. — 1992. — No. 1 (Special Issue). — P. 115—118. — doi:10.1080/03949370.1992.10721960.

6. Grassé P.-P., C. Noirot. La societe de Calotermes flavicollisde se fondation au premiere essaimage (фр.) // C. r. Acad. sci.. — 1958. — Vol. 246. — P. 1789—1795.

7. Miller E. M. Caste Differentiation in the Lower Termites // Biology of Termites. Vol. 1. (англ.) / Krishna K. (Eds.). — New York and London: Academic Press, 1969. — P. 283—310. — 598 p.

8. Maistrello L., Sbrenna G. Behavioural differences between male and female replacement reproductives in Kalotermes flavicollis (Isoptera, Kalotermitidae) (англ.) // Insectes Sociaux : Журнал. — Springer Science+Business Media, 1999. — Vol. 46, no. 2. — P. 186—191. — ISSN 0020-1812. — doi:10.1007/s000400050131.

9. Maistrello L., G. Sbrenna. Frequency of some behavioural patterns in colonies of Kalotermes flavicollis (Isoptera Kalotermitidae): the importance of social interactions and vibratory movements as mechanisms for social integration (англ.). — Ethology Ecology & Evolution. — 1996. — Vol. 8. — P. 365—375.

10. Springhetti A. Influence of the king and queen on the differentiation of soldiers in Kalotermes flavicollis Fabr. (Isoptera) (англ.) // Monitore Zoologico Italiano (Italian Journal of Zoology). — 1970. — Vol. 4. — P. 99—105. Архивировано 11 апреля 2022 года.

11. Krishna K. A generic revision and phylogenetic study of the family Kalotermitidae (Isoptera) (англ.) // Bulletin of the American Museum of Natural History. — 1961. — Vol. 122. — P. 303—408.

12. Fontana F. Cytological analysis of the chromosome complement of Kalotermes flavicollis Fabr. (lsoptera Kalotermitidae). The sex determining mechanisms (англ.) // Cytologia. — 1982. — Vol. 47, no. 1. — P. 147—152. — doi:10.1508/cytologia.47.147.

13. Fontana F., Amorelli M. Chromosome complement of Kalotermes flavicollis Fabr. (Isoptera: Kalotermitidae) (англ.) // Bollettino di zoologia (Italian Journal of Zoology). — 1975. — Vol. 42, no. 1. — P. 99—100. — doi:10.1080/11250007509430135.

14. Goldoni D., Fontana F. Localization of silver positive structures in mitotic and meiotic chromosomes of Kalotermes flavicollis (Fabr.) (Isoptera Kalotermitidae) (англ.) // Ethology Ecology & Evolution. — 1991. — Vol. 3, no. 1. — P. 25—27. — doi:10.1080/03949370.1991.10721903.

15. Жаров А. А. Желтошеий термит (Calotermes flavicollis Fabr.) на Черноморском побережье Кавказа // Термиты и меры борьбы с ними. Сборник докладов II

Всесоюзного совещания по изучению термитов и противотермитным мероприятиям / отв. ред. Луппова А. Н. — Ашхабад, 1968. — С. 134—136.

16. Engel M. S., K. Krishna. Case 3164. Kalotermes Hagen, 1853 (Insecta, Isoptera): proposed designation of Termes flavicollis Fabricius, 1793 as the type species (англ.) // Bulletin of Zoological Nomenclature : Журнал. — 2001. — Vol. 58, no. 2. — P. 100—104.

17. ICZN 2002. Opinion 2007 (Case 3164). Kalotermes Hagen, 1853 (Insecta, Isoptera): flavicollis Fabricius, 1793 designated as the type species (англ.) // Bulletin of Zoological Nomenclature : Журнал. — 2002. — Vol. 59, no. 3. — P. 209—210.

18. https://www.activestudy.info/termit-zheltosheij-zheltogrudyj-kalotermes-flavicollis/ Зооинженерный факультет МСХА