УДК 630

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ОТХОДОВ ЛЕСОПИЛЕНИЯ

Гаврилова О.И., Прокопюк В.М.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск,
e-mail: ogavril@mail.ru, 201610.07.um@gmail.com

В статье рассматривается проблема утилизации отходов лесопиления в связи с переработкой их в процессе жизнедеятельности отдельными видами грибов. Авторами описана и разработана последовательность переработки отходов лесопиления. Рассматривались несколько вариантов переработки, в том числе вариант с чистыми опилками, смесью опилок с торфом 1:1 по объему и с применением минеральных удобрений в дозах, рекомендованных для торфа верхового происхождения. Проведено разделение субстрата по крупности фракций: крупный (более 5 мм), средний (2–5 мм) и мелкий (менее 2 мм). На субстратах проведено заражение спорами грибов опенка осеннего – *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm., вешенки обыкновенной – *Pleurotus ostreatus* (Jaco) P. Kumm, и гриба Шиитакэ – *Lentinula edodes* (Berk) Pegler. После прохождения субстратами нескольких стадий разложения были получены плодовые тела грибов. В ходе проращивания грибной культуры было выявлено что мицелий грибной культуры шиитакэ развивался слабо. Позднее для контроля за качеством разложения субстрата проводили биотестирование проращиванием семян неприхотливых сельскохозяйственных растений: овес посевной – *Avena sativa* L. сорта Левша, редька посевная – *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. сорта Селеста и латук посевной – *Latuca sativa* L. сорта Азарт. Максимальную всхожесть семена имели на субстрате средней крупности с добавлением торфа и химических удобрений. Таким образом, можно сделать вывод о частичном разложении субстрата в связи с переработкой его грибами *Armillaria mellea* и *Pleurotus ostreatus*.

Ключевые слова: утилизация, деградация, биотехнология, грибы, культивация

BIOTECHNOLOGICAL DEGRADATION OF WOOD WASTES

Gavrilova O.I., Prokopyuk V.M.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: ogavril@mail.ru, 201610.07.um@gmail.com

The article considers the problem of utilization of sawmill wastes in connection with their processing in the process of vital activity by separate types of fungi. The authors have described and developed a sequence of processing sawmill waste. Several processing options were considered, including a version with clean sawdust, a mixture of sawdust with peat 1: 1 by volume and with the use of mineral fertilizers in doses recommended for peat of higher origin. The substrate was divided according to the fineness of the fractions: large (more than 5 mm), medium (2-5 mm) and small (less than 2 mm). On the substrata, spores of mushrooms were examined by the *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm, *Pleurotus ostreatus* (Jaco) P. Kumm, and *Shiitake* – *Lentinula edodes* (Berk) Pegler. After passing through the substrates several stages of disintegration, fruiting bodies of fungi were obtained. During the germination of the fungus culture it was revealed that the mycelium of the shiitake mushroom culture developed poorly. Later, to control the quality of the decomposition of the substrate, biotesting was carried out by germination of seeds of unpretentious agricultural plants: *Avena sativa* L., Lefty variety, *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. varieties Celeste and *Latuca sativa* L. varieties Azart. The maximum germination of seeds was on medium-sized substrates with the addition of peat and chemical fertilizers. Thus, we can conclude that mycelium *Armillaria mellea* and *Pleurotus ostreatus*.

Keywords: utilization, degradation, biotechnology, mushrooms, cultivation

Официально признано, что лучшим субстратом для выращивания посадочного материала культур является удобрённый слаборазложившийся (степень разложения – 5–10 %) сфагновый верховой торф, заготовленный осенью, проветренный и заправленный удобрениями. Однако его добыча вызывает ряд отрицательных последствий для окружающей среды.

В течение последних лет проведены исследования рядом авторов для поиска альтернативных торфу вариантов субстратов. Любой заменитель торфа должен иметь подходящие характеристики, в том числе быть достаточно рыхлым, стерильным, не слеживаться в процессе переработки и выращивания культур. Кроме того, быть экономически доступным и вырабатываться

в достаточном количестве. В работе авторов разработан аналог торфяному субстрату в виде продукта переработки биологических отходов, в частности отходов лесопиления [1, 2].

Утилизация отходов лесопиления часто становится проблемой для ряда предприятий деревообрабатывающей отрасли, и исследование по разработке субстрата, альтернативного торфу, могло бы стать лучшим вариантом их использования. По данным Рослесхоза, отходы лесопиления могут составлять от 35 % до 50 % от объема заготавливаемой круглой древесины [3, 4]. Более 550 тыс. т различных древесных отходов вырабатывается только предприятиями Карелии. Только 98 % из них используются в качестве топлива или каким-то образом

утилизируются [5, 6]. Внедрение способов утилизации самых разных видов отходов на сегодня является одной из важнейших задач экологической политики правительства. Вовлечение в оборот вторичного сырья в виде древесных отходов, обладающего набором полезных качеств, может иметь большое экономическое значение в будущем.

Материалы и методы исследования

Кислотность – один из важных показателей субстрата при выращивании культурных растений или культивирований грибных культур. Кислая или щелочная среда субстрата приводит к угнетению растительных и грибных культур и в конечном счете к их вымиранию. Развитие грибов предусматривает не только готовый к использованию субстрат, но и условия их усвоения. Основное питание грибов происходит при усвоении ими органических веществ. Кроме того, в процессе метаболизма участвует и ряд неорганических элементов, в частности, калий; среда обитания грибов не может быть сильно кислой, лучше всего подходит нейтральная среда.

При определении кислотности использовалась лакмусовая бумажка.

Для определения кислотности при помощи лакмусовой бумажки бралась выемка из первичного субстрата массой 20 г, заливалась дистиллированной водой объемом 150 мл и взбалтывалось. После прохождения 15 мин в жидкость, которая осталась после промокания в ней первичного субстрата, опускалась лакмусовая бумажка.

Кислотность первичного субстрата находилась на уровне 5,1–5,5 pH, что соответствует средней кислотности, так как лакмусовая бумажка окрасилась в оранжевый цвет при трех повторностях измерений. На таком субстрате не может быть реализовано выращивание грибов. Первичный субстрат необходимо привести к нейтральному уровню кислотности, так как высокий уровень кислотности приводит к угнетению грибной культуры и не позволит мицелию расти и разлагать первичный субстрат. Для оптимального функционирования грибного блока среда субстрата должна быть нейтральной, т.е. от 6 до 7 pH, допускается также слабокислая реакция среды первичного субстрата.

Есть несколько способов нейтрализовать кислотность субстрата, все способы связаны с внесением щелочных и слабощелочных, сыпучих веществ и растворов в первичный субстрат. Распространенным веществом среди садоводов является зола, также популярностью пользуются известь и доломитовая мука. Для нейтрализации кислотности субстрата была выбрана доломитовая мука, основной составляющей которой является карбонат кальция. Он вносился дозами, рекомендуемыми для торфа близкой кислотности, 3 кг/га на 1 м³ д.в.

Подготовка субстрата включает в себя обработку горячей водой и внесение примесей. Часть опилок помещали в хлопчатобумажный пакет, заливали почти кипящей водой (+90 °C) и оставляли их на 12 ч. Охлажденный естественным путем субстрат является рыхлым и хорошо увлажненным.

Для исследовательской работы был приготовлен субстрат трех видов:

– чистый опил хвойных пород;

– опил в смеси с химическими удобрениями, г/л 1 субстрата. (N:P:K = 6:2:5);

– хвойный опил в смеси с торфом 1:1.

Изначальный хвойный опил имел три категории крупности: мелкий (до 2 мм) средний (от 2 до 5 мм) и крупный (более 5 мм). Обработанный хвойный опил помещался (раздельно по категориям крупности) в емкость для смешивания с химическими удобрениями, торфом и водой. На три литра опила добавляли по 2 л воды. На подготовленный субстрат вносился мицелий грибов и распределять по контейнерам для выращивания. Вносили мицелий трех видов грибоккультуры для инокулирования, представленный в виде зерен овса, оплетенных гифами грибки. Мицелий был готов для внесения в субстрат и не требовал особой подготовки (опенок осенний, вешенка обыкновенная, шиитаке).

Мицелий постепенно внедрялся в субстрат в течение трех недель при температуре около +20 °C в помещении с естественной вентиляцией воздуха. В этот период не вскрывали крышку контейнера. Грибная культура, как правило, не любит прямого света, поэтому контейнеры с мицелием были распределены в лаборатории так, чтобы за весь период проведения опыта солнечные лучи не попадали на них.

Результаты исследования и их обсуждение

Первичный полуразложившийся субстрат получается после культивирования на отходах лесопиления грибной культуры в течение 3 месяцев, представляет из себя опилки с разной степенью разложения. Кроме того, размеры частиц после первого этапа разложения становятся существенно меньше. На первом этапе (7–10 дней с момента инокулирования) наблюдается видимое глазом пушение. На втором этапе развития грибов (2–3 недели дней с момента заражения) – пушение сильно увеличивается и проявляется в виде толстого слоя белого или желтоватого цвета (stroma) (рис. 1).

Заключительным этапом (25–45 дней с момента заражения) созревания грибкицы может быть появление зачатков грибов (примордии) (рис. 2). Внешнее проявление этого этапа – образование на поверхности субстрата – скопление грибных тел самых маленьких размеров.

Как отмечает ряд исследователей, если не соблюдать санитарно-гигиенических требований в процессе заражения субстрата грибкицей, некондиционных опилок, или при использовании воды с температурой ниже +90 °C, наблюдается слабое развитие грибкицы и на поверхности блока появляются пятна плесени желтого или зеленого цвета. Слабое пушение может быть при перегреве или переохлаждении мицелия, при перепадах температуры и других ошибках приготовления блока. Также плохое созревание может на-

блюдаться при несоблюдении температурного, влажностного и светового режимов проращивания [1]. В опытных образцах (вешенка, опенок) наблюдалось обильное пушение, а в образцах с использованием грибной культуры шиитаке наблюдалось слабое пушение и зарастание субстрата плесневыми грибами.

Грибы растут в таком виде в течение 5–6 дней, именно после этого времени есть смысл начать сбор урожая, чтобы не произошло перерастания плодов. После первого урожая следующие этапы появления плодовых тел происходят через 10–14 дней. Одиночная срезка грибов не допускается из-за перспективы заражения

субстрата плесневыми грибами. Полученные плодовые тела (рис. 3) использовались в пищу.

В процессе проращивания грибов было выявлено что грибная культура шиитаке совершенно не подходит для переработки хвойного опила, так как мицелий на нем развивался слабо.

Для контроля за качеством разложения субстрата проводили биотестирование проращиванием семян неприхотливых сельскохозяйственных растений на получившемся субстрате. Для проращивания были выбраны такие неприхотливые культуры, как овес Левша, редис Селеста, салат Азарт.

А

Б

Рис. 1. Созревание гриба, стадия обильного пушения: А – проросший мицелий гриба вешенка обыкновенная на субстрате из опилок с примесью торфа; Б – проросший мицелий гриба опенок на субстрате из опилок с примесью торфа

Рис. 2. Образование примордиев гриба вешенка обыкновенная на субстрате из опилок хвойных пород

Рис. 3. Проросшие плодовые тела опенка осеннего на субстрате из опилок с добавлением химических удобрений

На проращивание семян в субстрате влияет множество факторов, поэтому проращивание семян считалось по прошествии одной недели после появления первых ростков. Таким образом, исключается зависимость пророщенных семян только от наличия увлажнения субстрата. При проращивании определяли грунтовую всхожесть семян.

Средняя всхожесть по культивируемым грибам и крупности фракций исходного опила для семян овса сорта Левша составила при трехкратной повторности: шиитаке 35 % – мелкая фракция, 35 % – средняя фракция, 30 % – крупная фракция; вешенка 60 % – мелкая фракция, 70 % – средняя фракция, 50 % – крупная фракция; опенок 70 % – мелкая фракция, 80 % – средняя фракция, 70 % – крупная фракция, контроль (торфяной суб-

страт) 60 % – мелкая фракция, 70 % – средняя фракция, 60 % – крупная фракция (таблица).

Средняя всхожесть по культивируемым грибокультурам и крупности фракций исходного опила для салата Азарт составила: шиитаке 40 % – мелкая фракция, 40 % – средняя фракция, 40 % – крупная фракция; вешенка 73 % – мелкая фракция, 70 % – средняя фракция, 73 % – крупная фракция; опенок 83 % – мелкая фракция, 76 % – средняя фракция, 76 % – крупная фракция, контроль 63 % – мелкая фракция, 66 % – средняя фракция, 63 % – крупная фракция.

Средняя всхожесть по культивируемым грибокультурам и крупности фракций исходного опила для редиса Селеста составила: шиитаке 37 % – мелкая фракция, 37 % – средняя фракция, 35 % – крупная фракция; вешенка 75 % – мелкая фракция, 85 % – средняя фракция, 72 % – крупная фракция; опенок 77 % – мелкая фракция, 80 % – средняя фракция, 72 % – крупная фракция, контроль 67 % – мелкая фракция, 72 % – средняя фракция, 65 % – крупная фракция.

Выводы

Наибольшую всхожесть семена имели на субстрате средней крупности с добавлением торфа или химических удобрений. При проращивании семян на субстрате, заселенном грибной культурой, отрицательный результат наблюдался на субстрате, заселенном грибной культурой шиитаке, контроль показал неплохую всхожесть, но лучшая всхожесть представлена субстратом, заселенным грибными культурами вешенка обыкновенная и опенок осенний.

Всхожесть семян при биотестировании, %

Субстрат	Шиитаке			Вешенка			Опенок			Контроль			Сред- нее
	Мел- кий	Сред- ний	Круп- ный	Мел- кий	Сред- ний	Круп- ный	Мел- кий	Сред- ний	Круп- ный	Мел- кий	Сред- ний	Круп- ный	
Овес Левша (20)													
Опил	30	30	25	60	60	45	80	90	70	65	60	55	55
Опил + NPK	35	35	30	70	90	60	75	60	13	50	70	60	60
Опил + торф	35	35	35	50	60	40	55	90	75	60	80	70	55
Среднее	35	35	30	60	70	50	70	80	70	60	70	60	
Салат Азарт (30)													
Опил	33	40	33	63	50	73	69	59	76	60	16	60	57
Опил + NPK	36	40	36	76	79	83	89	83	69	66	73	66	66
Опил + торф	46	43	46	86	83	66	86	86	76	59	69	66	69
Среднее	40	40	40	73	69	73	83	76	76	63	66	63	
Редис Селеста 40													
Опил	40	33	35	80	80	75	65	70	63	60	65	68	60
Опил + NPK	40	38	33	75	90	73	80	82	78	70	80	63	68
Опил + торф	38	45	40	70	33	68	85	85	80	75	75	65	68
Среднее	38	37	35	75	34	73	78	80	73	68	73	65	

Первичный полуразложившийся субстрат представлен хвойным опилом после культивации на нем грибных культур. Проверка первичного субстрата биотестированием показала, что грибная культура шиитаке угнетает посаженные семена и не дает им нормально прорасти.

Список литературы

1. Андреев А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014. № 10. С. 148–155.
2. Бутова С.Н. Биотехнологическая деградация отходов растительного сырья. М.: Россельхозакадемия, 2014. 320 с.
3. Сафин Р.Г., Саттарова З.Г. Современные направления переработки лесных ресурсов // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 21. С. 90–93.
4. Агрохимия / Под ред. В.М. Ключковского, А.В. Петербурского. М.: Колос, 1967. 584 с.
5. Колесникова А.В. Анализ образования и использования древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса России // Актуальные вопросы экономических наук. 2013. № 33. С. 116–120.
6. Хакимова О.А., Носкова С.А., Шевелева Р., Хакимов Р. Утилизация отходов лесозаготовок с получением полуфабриката для картона // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2018. № 2. С. 60–73.