

УДК 630.86:602.4

БИОКОНВЕРСИЯ КАК СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ПОСЛЕЭКСТРАКЦИОННЫХ ОСТАТКОВ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ПИХТЫ (*ABIES SIBIRICA*) С ПОЛУЧЕНИЕМ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

© *О.О. Мамаева**, *Е.В. Исаева*, *В.С. Федоров*, *Т.В. Рязанова*

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, пр. им. газ. «Красноярский рабочий», 31, Красноярск, 660037 (Россия), e-mail: olga07_95@mail.ru

В данной статье рассматривается проблема утилизации твердого остатка древесной зелени пихты, образующегося при промышленном производстве эфирных масел. В задачу данного исследования входило изучение химического состава продуктов биоконверсии субстратов на основе древесной зелени пихты. В качестве биодеградатора выступал штамм PP-3.2. *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél.

В процессе биоконверсии происходит снижение содержания полисахаридов и лигнинных веществ до 38 и 28% соответственно. В продуктах биоконверсии древесной зелени пихты накапливается до 20% белка. Количество нуклеиновых кислот составляет не более 1.5 г на 1 кг, содержание тяжелых металлов не превышает норм предельно допустимой концентрации. Убыль массы субстрата достигает 15%. При добавлении к субстрату опавших листьев и послеэкстракционного остатка почек тополя увеличивается на 3% содержание белка, а также возрастает субстратразрушающая активность грибов. Перевариваемость продуктов в результате биоконверсии увеличивается в 1.6–2.8 раза в зависимости от состава субстрата.

Полученные данные позволяют рекомендовать постферментированные субстраты на основе древесной зелени пихты и биомассы тополя бальзамического к использованию в качестве белковой кормовой добавки.

Ключевые слова: послеэкстракционный остаток, древесная зелень пихты, биоконверсия, белковая кормовая добавка, *Pleurotus pulmonarius*, химический состав.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Глубокой переработки растительного сырья» проекта «Технология и оборудование химической переработки растительного сырья» (Номер темы FEFE-2020-0016).

Введение

В Российской Федерации Красноярский край является одним из ведущих лесных регионов (на 69.3% покрыт лесами). Площадь лесов составляет 20.3% от общего лесного фонда страны – это 164 млн га [1]. Главными лесообразующими породами в Красноярском крае являются хвойные, они занимают более 75.9%

Мамаева Ольга Олеговна – младший научный сотрудник лаборатории глубокой переработки растительного сырья, e-mail: olga07_95@mail.ru

Исаева Елена Владимировна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической технологии древесины и биотехнологии, e-mail: isaevaelena08@mail.ru

Федоров Владимир Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории глубокой переработки растительного сырья, e-mail: fedorovvladimir1996@yandex.ru

Рязанова Татьяна Васильевна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической технологии древесины и биотехнологии, e-mail: tatyana-htd09@mail.ru

лесопокрытых площадей, который составляют 9.7 млрд м³, на долю елово-пихтовых насаждений приходится 16.0% (1.6 млрд м³) [1, 2].

Объем ежегодной вырубki по хвойным породам в Красноярском крае составляет 48.9 млн м³, из которых 8.3 млн м³ приходится на ель и пихту. При заготовке и переработке древесины образуются отходы (древесная зелень и кора), составляющие в среднем 13.5%. Отходы растительного происхождения является масштабными источниками загрязнения окружающей среды [3, 4].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Древесная зелень хвойных является перспективным сырьем для получения ценных товарных продуктов. В процессе ее химической переработки получают хлорофиллокаротиновую пасту, хлорофиллин натрия, хвойно-соляной экстракт, хвойный лечебный экстракт, хвойный воск [3, 5, 6].

Древесная зелень пихты содержит комплекс веществ, обладающих высокой биологической активностью. В промышленных масштабах из нее традиционно выделяют эфирные масла [7, 8]. Также из древесной зелени пихты получают различные экстракты, содержащие большое разнообразие групп химических соединений: от органических кислот и микроэлементов до соединений флавоноидной природы и полифенольных комплексов [3, 9].

Отходы древесной зелени пихты после извлечения экстрактивных веществ используют для выработки витаминной муки, белково-витаминных концентратов, являющиеся важными кормовыми добавками в рационе сельскохозяйственных животных [10, 11]. Также послеэкстракционный остаток древесной зелени пихты можно использовать в качестве субстрата для биоконверсии [12, 13]. В ряду дереворазрушающих грибов обращают на себя внимание базидиомицеты представители рода *Pleurotus*. Вешенка имеет мощную ферментативную систему (целлюлазы и оксидазы), которая способна расщеплять целлюлозу и лигнин, вызывая при этом белую гниль древесины. Представители рода *Pleurotus* являются съедобными, нетоксичными и непатогенными грибами, богатыми перевариваемым протеином [14]. Эти свойства позволяют использовать грибы рода *Pleurotus* в качестве деструктора растительных отходов с получением, как плодовых тел, так и белкового кормового продукта [15, 16]. Однако использование грибов рода *Pleurotus*, а именно *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Qué1 в качестве биодеструктора субстратов на основе древесной зелени пихты, на сегодняшний день не изучалось.

В задачу данного исследования входило изучение компонентного состава продуктов, полученных в процессе биодеструкции субстратов на основе древесной зелени пихты штаммом РР-3.2 *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Qué1. Использование биоконверсии для утилизации промышленного отхода, образующегося в процессе производства эфирных масел, является перспективным направлением в технологии получения белковых кормовых продуктов.

Экспериментальная часть

В качестве биодеструктора использовали базидиальные грибы рода *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Qué1 штамм РР-3.2. Данный штамм хранится в музейной коллекции культур кафедры «Химическая технология древесины и биотехнология» Сибирского государственного университета имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. Штамм был изолирован в чистую культуру из коммерческих плодовых тел (рис. 1) и не является патогенным [16].

Основой субстратов, используемых для биоконверсии, служила древесная зелень пихты. Остаток древесной зелени пихты, используемый в работе, получен в результате выделения эфирных масел методом гидродистилляции на малогабаритной пилотной установке, разработанной в СибГУ им. М.Ф. Решетнева [17]. В состав смешанных субстратов были внесены добавки: почки и опавшие листья *Populus balsamifera* L., которые служили дополнительным источником углеводов, микроэлементов, белковых веществ, необходимых для роста микроорганизмов [18, 19]. Кроме того, внесенные почки тополя придавали рыхлость субстрату. В работе использовали твердый остаток почек тополя после удаления эфирных масел методом гидродистилляции [18]. Пробы почек были отобраны в апреле с деревьев, произрастающих в окрестностях г. Красноярска, а опавшие листья – в сентябре.

Для подготовки субстрата к биохимической переработке предварительно из остатка древесной зелени пихты и почек тополя были дополнительно извлечены спирторастворимые компоненты, поскольку они имеют самостоятельное применение [3, 20].

В работе использовали следующие субстраты: послеэкстракционный остаток (п.э.о.) древесной зелени пихты – субстрат 1; смешанный субстрат из п.э.о. древесной зелени пихты и почек тополя – субстрат 2; смешанный субстрат из п.э.о. древесной зелени пихты и почек тополя, опавших листьев (опад) – субстрат 3;. Все составляющие субстратов брали в соотношении 1 : 1 : 1 по массе.

Для осуществления процесса биоконверсии субстраты измельчали до 2–5 мм, увлажняли водой до 70% и многократно стерилизовали в автоклаве под давлением $1.01 \cdot 10^5$ МПа. Культивирование проводили твердофазным способом в чашках Петри. Засев штамма осуществляли блоками диаметром 14 мм, продолжительность культивирования составляла 15 суток.



Рис. 1. Морфология гриба PP-3.2 *Pleurotus pulmonarius* (а – плодоношение, б – чистая культура на среде сусло-агар)

Химический состав субстратов после биоконверсии исследован по методикам [21–23], которые подробно изложены в работе [24].

Массовую концентрацию элементов в субстрате до и после биодеструкции определяли на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (Agilent Technologies, США, 2018). Метод основан на использовании в качестве источника ионов и масс-спектрометра для их разделения и детектирования. Предварительно пробы минерализовали с использованием концентрированных азотной и серной кислот. Анализ содержания железа (как макрокомпонента) в образцах проводили методом атомно-абсорбционного анализа (прибор АAnalyst-400, PerkinElmer).

Эксперименты проводили в трех повторностях. Полученные результаты не выходят за пределы доверительной вероятности $P=0.95$.

Обсуждение результатов

Ранее проведенные исследования по изучению химического состава показали, что субстраты на основе п.э.о. древесной зелени пихты, п.э.о. почек и опавших листьев тополя являются благоприятными для твердофазного культивирования базидиальных грибов и могут служить для грибов источниками биогенных элементов, микроэлементов и витаминов [25]. В таблице 1 показано количественное содержание некоторых минеральных веществ в отдельных компонентах субстратов.

Таблица 1. Содержание минеральных веществ в исходном сырье

Элемент	Содержание элементов, мг/кг		
	п.э.о. древесной зелени пихты	опавшие листья тополя	п.э.о. почек тополя
Натрий	0.4	0.6	0.9
Магний	1.9	6.6	3.3
Фосфор	1.5	2.1	2.5
Сера	366.8	691.9	483.4
Хлор	178.2	55.7	28.3
Калий	6.3	10.4	5.6
Кальций	<1.0	<2.1	<2.1
Железо	0.7	0.9	1.6
Алюминий	0.3	0.3	0.4
Хром	0.04	0.03	0.04
Марганец	1.1	0.4	0.1
Кобальт	0.001	0.007	0.003
Медь	0.03	0.1	0.09
Цинк	0.4	2.3	4.6
Селен	<0.02	<0.04	<0.04
Бром	0.02	0.04	0.3
Стронций	0.08	0.1	0.1
Молибден	0.001	0.006	0.004
Йод	0.2	0.1	0.08

Установлено, что к основным микроэлементам субстратов относятся цинк, железо, марганец, йод, алюминий. Известно, что такие микроэлементы, как медь, железо, марганец, молибден, цинк связаны с производством ферментов и разложением лигноуглеводного комплекса [26].

Выявлено, что в опавших листьях содержание макроэлементов, таких как магний, сера и калий выше, чем в п.э.о. древесной зелени пихты и почек тополя. Таким образом, можно говорить о том, что при добавлении биомассы тополя к п.э.о. древесной зелени пихты увеличивается содержание макроэлементов, необходимых для роста и развития грибов.

Следует отметить, что содержание в сырье свинца (0.009–0.02 мкг/кг), ртути (0.002 мкг/кг), кадмия (0.001–0.01 мкг/кг), мышьяка (0.003–0.03 мкг/кг) и никеля (0.02–0.05 мкг/кг) не превышает предельно допустимой концентрации [27].

При культивировании штамма PP-3.2 *P. pulmonarius* радиальная скорость роста на п.э.о. древесной зелени пихты составила 2.8 мм/сут, при добавлении к субстрату п.э.о. почек тополя – 3.8 мм/сут, опавших листьев тополя – 4.3 мм/сут [12].

О результатах эффективности воздействия ферментного комплекса исследуемого штамма на растительные субстраты судили по изменению содержания полисахаридов и лигниновых веществ (табл. 2).

Для сравнения химического состава биодеструктированного субстрата с исходным производили пересчет полученных данных с учетом коэффициента убыли массы в процессе культивирования гриба. Убыль массы субстрата 1 составила 7.3%, субстрата 2 – 11.6%, субстрата 3 – 15.4%.

В зависимости от состава субстратов процесс биоконверсии идет по-разному. На субстрате 1 гриб разрушает полисахариды, что приводит к увеличению водозэкстрактивных веществ на фоне уменьшения остальных компонентов субстрата. При добавлении п.э.о. почек (субстрат 2) и опавших листьев (субстрат 3) направление конверсии изменяется, поскольку с водозэкстрактивными компонентами листьев привносятся легкоусвояемые углеводы, поэтому наблюдается снижение доли экстрактивных веществ на 6% и 18% соответственно.

В субстратах 1 и 2 после биодеструкции наблюдается увеличение лигниновых веществ. Можно предположить, что в процессе биоконверсии субстратов важную роль играет ослабление связи лигноуглеводного комплекса через деструкцию целлюлоз. Поэтому после утилизации углеводов относительная доля лигнина увеличивается. Сумма полисахаридов в данных субстратах уменьшилась на 38 и 23% соответственно.

Следует отметить, что при добавлении опада к п.э.о. древесной зелени и почек тополя (субстрат 3) происходит изменение степени биоконверсии субстрата, убыль массы возрастает в 2.1 раза в сравнении с субстратом 1 и 1.3 раза в сравнении с субстратом 2. При культивировании штамма PP-3.2 *P. pulmonarius* на субстрате 3 отмечена максимальная утилизация лигниновых веществ, в процессе биоконверсии их содержание снизилось на 28%. Это можно объяснить высокой фенолоксидазной активностью штамма при культивировании на смешанном субстрате. Известно, что лигнин почек и листьев тополя менее метоксилирован по сравнению с лигнином древесины и по своему составу близок к лигнинам травянистых растений.

Таблица 2. Компонентный состав субстратов до и после биоконверсии

Компонент	Содержание, % а.с.с.		
	субстрат 1	субстрат 2	субстрат 3
Вещества, экстрагируемые горячей водой	<u>12.5±0.34</u>	<u>14.9±0.24</u>	<u>13.5±0.32</u>
	18.6±0.45	13.9±0.32	10.8±0.41
Вещества, экстрагируемые этиловым спиртом	<u>3.6±0.12</u>	<u>2.2±0.05</u>	<u>2.5±0.04</u>
	3.3±0.14	2.1±0.06	2.3±0.05
Легкогидролизуемые полисахариды	<u>17.8±0.47</u>	<u>14.2±0.41</u>	<u>12.1±0.34</u>
	9.6±0.33	11.7±0.35	11.8±0.43
Трудногидролизуемые полисахариды	<u>23.8±0.51</u>	<u>19.5±0.57</u>	<u>17.9±0.48</u>
	16.1±0.64	14.1±0.53	15.9±0.64
Лигниновые вещества	<u>31.8±0.43</u>	<u>34.5±0.48</u>	<u>43.4±0.51</u>
	37.2±0.66	34.7±0.62	31.2±0.64
Минеральные вещества	<u>5.9±0.16</u>	<u>9.0±0.24</u>	<u>9.2±0.27</u>
	7.7±0.24	8.7±0.31	7.8±0.29
Белок	<u>7.9±0.21</u>	<u>8.1±0.27</u>	<u>8.9±0.18</u>
	20.0±0.69	20.0±0.67	23.0±0.74

Примечание. В числителе данные до биоконверсии, в знаменателе указаны данные после биоконверсии.

В процессе культивирования штамма PP-3.2 *P. pulmonarius* происходит увеличение содержания белка в растительных субстратах примерно в 2.5 раза не зависимо от состава субстрата. Наибольшее количество белка накапливается на смешанном субстрате, в состав которого входит опад тополя.

При оценке пригодности продуктов, полученных в процессе биоконверсии, в качестве кормовых добавок был исследован минеральный состав золы. Основные макро- и микроэлементы, необходимые для оценки белковых кормовых добавок, представлены в таблице 3.

Минеральные вещества входят в состав молекул сложных органических структур и необходимы для синтеза жизненно важных соединений. Также минеральные вещества имеют большое значение в процессах пищеварения, всасывания и усвоения питательных веществ кормов в организме животных, при этом способствуют созданию среды, в которой проявляют свое действие ферменты и гормоны [28].

Для обмена веществ животных наибольшее значение имеют микроэлементы, такие как медь, цинк, железо, марганец и йод. Они связаны с ферментами, гормонами и витаминами. Из макроэлементов наибольшее значение для животных имеют фосфор, кальций, калий, магний, сера, натрий [28]. Согласно ветеринарно-санитарным нормам и требованиям к качеству кормов для животных [27], содержание ртути, кадмия, мышьяка, свинца, а также меди и цинка в продуктах биоконверсии не превышает предельно допустимой концентрации.

По содержанию серы, входящей в состав глутатиона, инсулина и других веществ, все субстраты после биодеструкции соответствуют кормам, таким как кукуруза (0.4 г/кг), трава луговая (0.8 г/кг), пшеница яровая (0.5 г/кг) и др. [29]. По содержанию, например, йода продукт биодеструкции, полученный на субстрате 1, превосходит корма, такие как сено клеверное и солома гороховая (в 1.7 раза), кукуруза – в 17 раз [29].

Также важным показателем качества получаемой кормовой добавки является перевариваемость (рис. 2).

В ходе исследования установлено, что перевариваемость продукта до культивирования составляла 23.4% (субстрат 1), 32.0% (субстрат 2), 33.7% (субстрат 3). В процессе деструкции происходит увеличение показателя перевариваемости в 1.6–2.8 раза. Наибольшая перевариваемость наблюдается у продукта, полученного на послеэкстракционном остатке древесной зелени пихты (субстрат 1), и составляет 66.0%. Показатели соответствуют нормам перевариваемости сухого вещества кормов [30].

Содержание нуклеиновых кислот на 1 кг сухого вещества рациона животных не должно превышать 9 г, так как в избыточном количестве они опасны для животных [30]. Установлено, что содержание нуклеиновых кислот в биодеструктированных субстратах составляет не более 1.5 г на 1 кг продукта.

Основываясь на полученных результатах химического состава субстратов после биоконверсии на основе древесной зелени пихты, количественном содержании белка, низком содержании нуклеиновых кислот и отсутствии тяжелых металлов, можно рекомендовать к использованию продукты биоконверсии растительных субстратов в качестве белковой кормовой добавки.

Таблица 3. Элементный состав золы субстратов после биоконверсии

Элемент	Содержание элементов в субстратах, мг/кг		
	субстрат 1	субстрат 2	субстрат 3
Натрий	0.6	1.3	0.7
Магний	2.7	3.1	5.8
Фосфор	1.7	3.4	4.1
Сера	462.7	536.8	747.8
Хлор	552.2	47.9	136.2
Калий	8.1	10.1	12.9
Кальций	1.6	<2.1	<2.1
Железо	1.0	0.9	1.3
Алюминий	0.4	0.2	0.3
Хром	0.05	0.03	0.04
Марганец	1.4	1.1	1.1
Кобальт	0.002	0.001	0.003
Медь	0.05	0.09	0.6
Цинк	0.6	0.7	1.7
Селен	<0.02	<0.04	<0.04
Бром	0.02	0.1	0.04
Йод	0.5	0.06	0.1

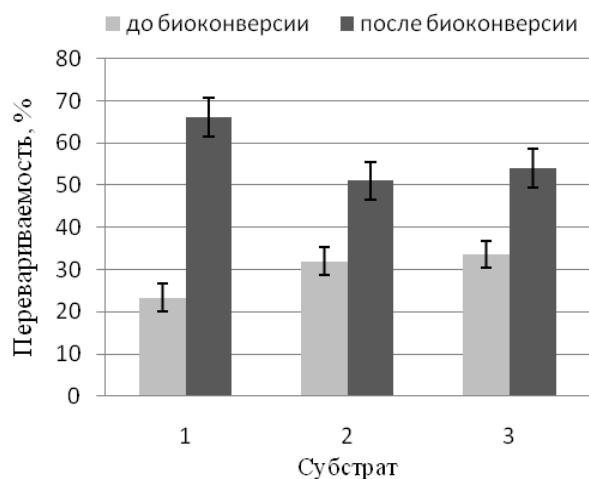


Рис. 2. Перевариваемость субстратов

Выводы

Предварительная обработка субстратов штаммом PP-3.2 *P. pulmonarius* является привлекательным вариантом для увеличения содержания в них белка (до 20%) за счет роста грибковой биомассы. При культивировании на смешанном субстрате, состоящем из п.э.о. древесной зелени пихты, почек тополя и опавших листьев, содержание белка в субстрате возрастает до 23%, а убыль массы – до 15% (выше в 2 раза, чем на древесной зелени пихты). В процессе биоконверсии на послеэкстракционном остатке древесной зелени пихты гриб утилизирует до 38% полисахаридов, при добавлении в субстрат послеэкстракционного остатка почек тополя и опавших листьев происходит снижение лигниновых (на 28%) и экстрактивных (18%) веществ.

Перевариваемость продукта составляет 54–66%, содержание нуклеиновых кислот – не более 1.5 г/кг продукта, содержание тяжелых металлов не превышает норм предельно допустимой концентрации.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности использования послеэкстракционного остатка древесной зелени пихты, как самостоятельного субстрата, так и в композиции с биомассой тополя для биоконверсии грибами *P. pulmonarius* (PP-3.2) с получением белковой кормовой добавки для сельскохозяйственных животных.

Авторы выражают благодарность Центру коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН за поддержку исследований.

Список литературы

1. Указ Губернатора Красноярского края № 332-уг от 21.12.2018 г. «Об утверждении лесного плана Красноярского края». Введ. 01.01.2019. Красноярск, 2018. 73 с.
2. Морозов В.И., Петрушева Н.А. Использование потенциальных ресурсов древесной зелени хвойных пород лесов Красноярского края // Тенденции развития науки и образования. 2019. Вып. 50(2). С. 38–41.
3. Ушанова В.М. Переработка древесной зелени и коры пихты сибирской с получением биологически активных продуктов // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 1(2). С. 138–142.
4. Лесной план Красноярского края. Красноярск, 2009. 210 с.
5. А.с. 1279634 А1 (Казахстан). Способ получения хвойно-соляного экстракта / Э.Г. Уус, Э.Н. Теаро, Э.К. Сийрде, В.И. Стрижак, С.Ю. Воротински, В.И. Каптен, Р.П. Аугас, И.А.Кееров. – 1986.
6. А.с. 2530656 С1 (РФ). Способ переработки древесной зелени пихты с получением хлорофиллокаротиновой пасты, пихтового масла и водного пихтового экстракта / С.А. Попов, С.А. Шевцов, Л.П. Козлова, Л.И. Клименко, И.В. Колесникова. 2014.
7. Панькив О.Г., Мирошниченко В.В., Паршикова В.Н., Степень Р.А. Выход и состав выделяемого различными способами пихтового масла // Химия растительного сырья. 2009. №3. С. 95–98.
8. Hmaied M., Bouafif H., Magdoui S., Braghiroli F.L., Koubaa A. Effect of Forest Biomass Pretreatment on Essential Oil Yield and Properties // Forests. 2019. Vol. 10(11). P. 1042. DOI: 10.3390/f10111042.
9. Козлова Л.П., Кукина Т.П., Малыхин Е.В., Попов С.А., Сальникова О.И., Чибирьев А.М. Экстрактивные вещества флорентийной воды. Органический состав гидродистиллята эфирного экстракта пихтовой лапки // Химия растительного сырья. 2004. №2. С. 39–46.

10. Прытков Ю.Н., Кистина А.А. Применение хвойно-каротиновой добавки в яичном птицеводстве // Аграрный научный журнал. 2016. №8. С. 52–55.
11. Воробьев А.Л., Калачев А.Л., Залесов С.В. Использование отходов лесозаготовок в качестве сырья для получения кормовых добавок // Леса России и хозяйство в них. 2018. №3. С. 65–72.
12. Леконцева И.В., Мамаева О.О., Исаева Е.В. Древесная зелень пихты как субстрат для биоконверсии базидиальных грибов // Хвойные бореальной зоны. 2019. №37 (3-4). С. 265–270.
13. Бондарь П.Н., Садыкова В.С., Ушанова В.М., Савицкая А.Г. Биотехнологические аспекты отбора штаммов *Trichoderma* для создания препаратов для защиты растений. Новосибирский аграрный научно-образовательный производственный комплекс // Материалы международной научно-практической конференции «Современные средства, методы и технологии защиты растений». Новосибирск, 2008. С. 30–34.
14. Соломко Э.Ф., Сиренко И.П., Федоров О.А. Анализ кинетики роста мицелия высшего базидиального гриба вешенки обыкновенной в глубинной культуре // Производство высших съедобных грибов в СССР. Киев, 1985. С. 124–126.
15. Тарнопольская В.В. Алаудинова Е.В., Миронов П.В. Перспективы использования базидиальных грибов для получения кормовых продуктов // Хвойные бореальной зоны. 2016. №37 (5-6). С. 338–341.
16. Мельникова Е.А. Технология переработки растительной биомассы с получением белковых кормовых продуктов. Микробиологическая конверсия *Pleurotus pulmonarius*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2016. 23 с.
17. Ryazanova T.V., Loskutov S.R., Aniskina A.A. The effect of storage of wood green of fir to the composition of the essential oil // Materials of the International Conference «Scientific research of the SCO countries: Synergy and integration» – Reports in English. Part 1. Beijing, 2019. Pp. 163–168.
18. Исаева Е.В., Рязанова Т.В. Состав, свойства и переработка отходов вегетативной части тополя после извлечения экстрактивных веществ. Сообщение 1. Химический состав твердых и жидких отходов // Химия растительного сырья. 2012. №3. С. 59–65.
19. Исаева Е.В., Мамаева О.О., Рязанова Т.В. Биоконверсия опавших листьев тополя бальзамического мицелиальными грибами рода *Trichoderma* // Журнал СФУ. Химия. 2017. №10 (3). С. 381–389.
20. Lozhkina G.A., Isaeva E.V., Ryazanova T.V. A study of the alcohol extract from balsam poplar buds // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2010. Vol. 36(7). Pp. 83–88. DOI: 10.1134/S1068162010070228.
21. Рязанова Т.В., Чупрова Н.А., Исаева Е.В. Химия древесины. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2012. 428 с.
22. Спирин А.С. Спектрофотометрическое определение суммарного количества нуклеиновых кислот // Биохимия. 1958. №23 (4). С. 656.
23. Жуков А.П. Метод определения перевариваемости кормов *in vitro* // Труды Саратовского зооветинститута. 1961. №10. С. 109–124.
24. Мамаева О.О., Исаева Е.В., Лоскутов С.Р., Пляшечник М.А. Компонентный состав продукта биодеструкции опавших листьев базидиальными грибами *Pleurotus pulmonarius* (штамм PP-3.2) // Химия растительного сырья. 2021. №1. С. 277–285. DOI: 10.14258/jcrpm.2021018851.
25. Мамаева О.О., Исаева Е.В. Компонентный состав продуктов ферментации вегетативной части древесных растений базидиальными грибами *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst (Fp5-15) // Хвойные бореальной зоны. 2020. Т. 37. №5-6. С. 259–264.
26. Koutrotsios G., Danezis G., Georgiou C., Zervakis G.I. Elemental Content in *Pleurotus ostreatus* and *Cyclocybe cylindracea* Mushrooms: Correlations with Concentrations in Cultivation Substrates and Effects on the Production Process // Molecules. 2020. Vol. 25(9). P. 2179. DOI: 10.3390/molecules25092179.
27. Нормы и требования №13-7-2/174. Ветеринарно-санитарные нормы и требования к качеству кормов для непродуктивных животных. М., 1997. 100 с.
28. Калашникова А.П., Фисинина В.И., Щеглова В.В., Клейменова Н.И. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. М., 2003. 456 с.
29. Чичаева В.Н., Комиссарова Т.Н., Воробьева Н.В., Логинова Т.П. Справочные таблицы по кормлению сельскохозяйственных животных. Нижний Новгород, 2017. 67 с.
30. Рядчиков В.Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных. Краснодар, 2014. 616 с.

Поступила в редакцию 6 января 2022 г.

После переработки 28 января 2022 г.

Принята к публикации 4 февраля 2022 г.

Для цитирования: Мамаева О.О., Исаева Е.В., Федоров В.С., Рязанова Т.В. Биоконверсия как способ утилизации послеэкстракционных остатков древесной зелени пихты (*Abies sibirica*) с получением кормовой добавки // Химия растительного сырья. 2022. №2. С. 243–251. DOI: 10.14258/jcrpm.20220210460.

Mamaeva O.O.*, Isaeva E.V., Fedorov V.S., Ryazanova T.V. BIOCONVERSION AS A METHOD OF UTILIZATION OF POST-EXTRACTION RESIDUES OF FIR TREE GREENS (*ABIES SIBIRICA*) WITH OBTAINING A FEED ADDITIVE

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, pr. Krasnoyarskii rabochii, 31, Krasnoyarsk, 660037 (Russia), e-mail: olga07_95@mail.ru

This article deals with the problem of utilization of the solid residue of fir tree greens formed during the industrial production of essential oils. The objective of this study was to study the chemical composition of bioconversion products of substrates based on fir tree greens. The strain PP-3.2. *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél acted as a biodestructor.

In the process of bioconversion, the content of polysaccharides and lignin substances decreases to 38 and 28%, respectively. Up to 20% of protein accumulates in the bioconversion products of fir tree greens. The amount of nucleic acids is no more than 1.5 g per 1 kg, the content of heavy metals does not exceed the maximum permissible concentration. The decrease in the mass of the substrate reaches 15%. When the fallen leaves and the post-extraction residue of poplar buds are added to the substrate, the protein content increases by 3%, and the substrate-destroying activity of fungi also increases. The digestibility of products as a result of bioconversion increases by 1.6-2.8 times, depending on the composition of the substrate.

The obtained data allow us to recommend post-fermented substrates based on fir tree greens and balsamic poplar biomass for use as a protein feed additive.

Keywords: post-extraction residue, fir tree greens, bioconversion, protein feed additive, *Pleurotus pulmonarius*, chemical composition.

References

1. Ukaz Gubernatora Krasnoyarskogo kraja № 332-ug ot 21.12.2018 g. «Ob utverzhdenii lesnogo plana Krasnoyarskogo kraja». Vved. 01.01.2019. [Decree of the Governor of the Krasnoyarsk Territory No. 332-ug dated December 21, 2018 "On Approval of the Forest Plan of the Krasnoyarsk Territory". Introduction 01/01/2019]. Krasnoyarsk, 2018, 73 p. (in Russ.).
2. Morozov V.I., Petrusheva N.A. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2019, vol. 50(2), pp. 38–41. (in Russ.).
3. Ushanova V.M. *Khvoynnye boreal'noy zony*, 2013, vol. 1(2), pp. 138–142. (in Russ.).
4. *Lesnoy plan Krasnoyarskogo kraja*. [Forest plan of the Krasnoyarsk Territory]. Krasnoyarsk, 2009, 210 p. (in Russ.).
5. Patent 1279634 A1 (KZ). 1986. (in Russ.).
6. Patent 2530656 C1 (RU). 2014. (in Russ.).
7. Pan'kiv O.G., Miroshnichenko V.V., Parshikova V.N., Stepen' R.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2009, no. 3, pp. 95–98. (in Russ.).
8. Hmaied M., Bouafif H., Magdouli S., Braghiroli F.L., Koubaa A. *Forests*, 2019, vol. 10(11), p. 1042. DOI: 10.3390/f10111042.
9. Kozlova L.P., Kukina T.P., Malykhin Ye.V., Popov S.A., Sal'nikova O.I., Chibiriyayev A.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2004, no. 2, pp. 39–46. (in Russ.).
10. Prytkov Yu.N., Kistina A.A. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, 2016, no. 8, pp. 52–55. (in Russ.).
11. Vorob'yev A.L., Kalachev A.L., Zalesov S.V. *Les Rossi i khozyaystvo v nikh*, 2018, no. 3, pp. 65–72. (in Russ.).
12. Lekontseva I.V., Mamayeva O.O., Isayeva Ye.V. *Khvoynnye boreal'noy zony*, 2019, no. 37 (3-4), pp. 265–270. (in Russ.).
13. Bondar' P.N., Sadykova V.S., Ushanova V.M., Savitskaya A.G. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennyye sredstva, metody i tekhnologii zashchity rasteniy»*. [Proceedings of the international scientific and practical conference "Modern means, methods and technologies of plant protection"]. Novosibirsk, 2008, pp. 30–34. (in Russ.).
14. Solomko E.F., Sirenko I.P., Fedorov O.A. *Proizvodstvo vysshikh s'yedobnykh gribov v SSSR*. [Production of higher edible mushrooms in the USSR]. Kiev, 1985, pp. 124–126. (in Russ.).
15. Tarnopol'skaya V.V., Alaudinova Ye.V., Mironov P.V. *Khvoynnye boreal'noy zony*, 2016, no. 37 (5-6), pp. 338–341. (in Russ.).
16. Mel'nikova Ye.A. *Tekhnologiya pererabotki rastitel'noy biomassy s polucheniyem belkovykh kormovykh produktov. Mikrobiologicheskaya konversiya Pleurotus pulmonarius: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk*. [Technology for processing plant biomass to obtain protein feed products. Microbiological conversion of *Pleurotus pulmonarius*: Ph.D. dis. ... cand. tech. Sciences]. Krasnoyarsk, 2016. 23 p. (in Russ.).
17. Ryazanova T.V., Loskutov S.R., Aniskina A.A. *Materials of the International Conference «Scientific research of the SCO countries: Synergy and integration» - Reports in English. Part 1*. Beijing, 2019, pp. 163–168.
18. Isayeva Ye.V., Ryazanova T.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 3, pp. 59–65. (in Russ.).
19. Isayeva Ye.V., Mamayeva O.O., Ryazanova T.V. *Zhurnal SFU. Khimiya*, 2017, no. 10 (3), pp. 381–389. (in Russ.).
20. Lozhkina G.A., Isaeva E.V., Ryazanova T.V. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2010, vol. 36(7), pp. 83–88. DOI: 10.1134/S1068162010070228.
21. Ryazanova T.V., Chuprova N.A., Isayeva Ye.V. *Khimiya drevesiny*. [Chemistry of wood]. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2012, 428 p.
22. Spirin A.S. *Biokhimiya*, 1958, no. 23 (4), p. 656. (in Russ.).
23. Zhukov A.P. *Trudy Saratovskogo zoovetinstituta*, 1961, no. 10, pp. 109–124. (in Russ.).

* Corresponding author.

24. Mamayeva O.O., Isayeva Ye.V., Loskutov S.R., Plyashechnik M.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 277–285. DOI: 10.14258/jcprm.2021018851. (in Russ.).
25. Mamayeva O.O., Isayeva Ye.V. *Khvoynyye boreal'noy zony*, 2020, vol. 37, no. 5-6, pp. 259–264. (in Russ.).
26. Koutrotsios G., Danezis G., Georgiou C., Zervakis G.I. *Molecules*, 2020, vol. 25(9), p. 2179. DOI: 10.3390/molecules25092179.
27. *Normy i trebovaniya №13-7-2/174. Veterinarno-sanitarnyye normy i trebovaniya k kachestvu kormov dlya neproduktivnykh zivotnykh*. [Norms and requirements No. 13-7-2 / 174. Veterinary and sanitary norms and requirements for the quality of feed for unproductive animals]. Moscow, 1997, 100 p. (in Russ.).
28. Kalashnikova A.P., Fisinina V.I., Shcheglova V.V., Kleymenova N.I. *Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zivotnykh*. [Norms and diets for feeding farm animals]. Moscow, 2003, 456 p. (in Russ.).
29. Chichayeva V.N., Komissarova T.N., Vorob'yeva N.V., Loginova T.P. *Spravochnyye tablitsy po kormleniyu sel'skokhozyaystvennykh zivotnykh*. [Reference tables on the feeding of farm animals]. Nizhniy Novgorod, 2017, 67 p. (in Russ.).
30. Ryadchikov V.G. *Osnovy pitaniya i kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zivotnykh*. [Fundamentals of nutrition and feeding of farm animals]. Krasnodar, 2014, 616 p. (in Russ.).

Received January 6, 2022

Revised January 28, 2022

Accepted February 4, 2022

For citing: Mamaeva O.O., Isaeva E.V., Fedorov V.S., Ryazanova T.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 243-251. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220210460.

