

УДК 66.092:630.416.11:582.284

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТА БИОДЕСТРУКЦИИ ОПАВШИХ ЛИСТЬЕВ БАЗИДИАЛЬНЫМИ ГРИБАМИ *PLEUROTUS PULMONARIUS* (ШТАММ PP-3.2)

© *О.О. Мамаева*^{1*}, *Е.В. Исаева*¹, *С.Р. Лоскутов*², *М.А. Пляшечник*²

¹ 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

² Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН, Академгородок, 50/28, Красноярск, 660036 (Россия)

На сегодняшний день растительные отходы, в том числе опавшие листья тополя (опад), являются перспективным сырьем для производства с помощью биоконверсии полезных продуктов, таких как белковые кормовые добавки.

Цель данного исследования – изучение компонентного состава продуктов, полученных в результате биоконверсии листового опада. В качестве биодеструктора использовали штамм PP-3.2 *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél. В процессе конверсии субстрата штамм PP-3.2 в первую очередь утилизирует экстрактивные вещества и легкогидролизуемые полисахариды, количество которых снижается на 44 и 36% соответственно. Общее содержание полисахаридов уменьшается на 20%, лигниновых веществ – 9.4%. Убыль массы субстрата на основе опада листьев составила 23%. Полученный после культивирования продукт содержит 28% белка. Анализ аминокислотного состава белка показал высокий скор по фенилаланину с тирозином (115), треонину (117.5), валину (110) и изолейцину (105%). Также в продукте биодеструкции отмечено высокое содержание глутаминовой и аспарагиновой кислот (11.2 и 25.3% от суммы аминокислот соответственно). Выявленные в результате исследований уровни содержания кадмия, свинца и меди не превышают предельно допустимых концентраций, установленных департаментом ветеринарии. Вместе с тем отмечается высокое содержание в кормовом продукте железа (166.0 мг/кг) и цинка (256.7 мг/кг). Перевариваемость продукта составляет 54%, содержание нуклеиновых веществ – до 0.3%.

Таким образом, полученные результаты показывают возможность использования продукта конверсии опавших листьев тополя в качестве белковой кормовой добавки.

Ключевые слова: биоконверсия, опад, тополь, белковый кормовой продукт, аминокислотный анализ, химический состав, перевариваемость, тяжелые металлы, нуклеиновые кислоты, *Pleurotus pulmonarius*.

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

Мамаева Ольга Олеговна – аспирант, младший научный сотрудник научной 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

Лоскутов Сергей Реджинальдович – доктор химических наук, заведующий отделом физико-химической биологии и биотехнологии компонентов лесных экосистем, e-mail: s_regu@mail.ru

Пляшечник Мария Анатольевна – научный сотрудник лаборатории физико-химической биологии древесных растений, e-mail: lilwood@ksc.krasn.ru

На сегодняшний день существует проблема утилизации растительных отходов. На кафедре химической технологии древесины и биотехнологии СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева проводятся работы по изучению химического состава опавших листьев тополя бальзамического и возможностей их использования в качестве субстратов для биоконверсии.

В основе биоконверсии растительных отходов лежит деструкция их компонентов культурами-

* Автор, с которым следует вести переписку.

продуцентами, конверсия сопровождается приростом биомассы и выделением продуцента ряда биологически активных веществ, наряду с изменением компонентного состава исходного субстрата.

Грибы – это основные разрушители растительных остатков, особое место среди множества грибов занимают представители класса *Basidiomycetes*, в частности грибы рода *Pleurotus* [1–5].

Вешенка имеет мощную ферментативную систему (целлюлазы и оксидазы), которая способна расщеплять целлюлозу и лигнин, вызывая белую гниль древесины. Это и позволяет использовать грибы рода *Pleurotus* для биодеструкции растительных отходов с получением белкового кормового продукта и плодовых тел [2, 5–8].

В пищевой промышленности плодовые тела *Pleurotus* используют как белковый продукт, содержащий широкий спектр биологически активных веществ [2, 5, 8–10].

Вешенка занимает второе место в России по объему культивирования, ее ежегодная продукция составляет около 20% от общей продукции всех культивируемых грибов [11].

Pleurotus pulmonarius Fr (вешенка легочная) – один из представителей рода *Pleurotus*, является перспективным продуцентом белка и не уступает по своим питательным свойствам *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная) [5]. При производстве кормовых продуктов с использованием культур *Pleurotus* используют субстраты: пшеничную солому, древесные опилки, вегетативную часть топинамбура, а также вегетативную часть тополя [2, 5, 12].

При оценке пригодности растительного материала в качестве кормов важно наличие в нем протеина, нуклеиновых кислот, клетчатки и других соединений [13]. Биологическая ценность белка зависит от наличия в нем незаменимых аминокислот. Избыток какой-либо аминокислоты может вызывать депрессию роста. Для полного использования протеина в рационе каждая незаменимая аминокислота должна быть в сбалансированном соотношении с другими аминокислотами. Недостаток какой-либо незаменимой аминокислоты в используемом белковом корме животных неизбежно ограничивает использование других аминокислот в рационе, а это снижает эффективность всего рациона и белкового корма [14].

Также важным параметром оценки качества получаемых кормовых добавок является их безопасность по уровню содержания тяжелых металлов. Тяжелые металлы могут быть токсичными для животных, они обладают биоаккумулятивностью, а также снижают питательность выращенной кормовой продукции [15, 16].

Цель настоящей работы – изучение компонентного состава продукта биоконверсии, полученного в процессе культивирования штамма *Pleurotus pulmonarius* PP-3.2 на опавших листьях тополя бальзамического.

Экспериментальная часть

В качестве биодеструктора из базидиальных грибов для работы был выбран штамм PP-3.2 *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél. *Pleurotus pulmonarius* PP-3.2 предоставила сотрудник кафедры «Химическая технология древесины и биотехнология» СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева, к.т.н. Мельникова Е.А. Штамм был изолирован в чистую культуру из коммерческих плодовых тел [5, 17]. Данный штамм не является патогенным [5].

В работе [5] представлены результаты исследования состава белка *P. pulmonarius* (штамм PP 3.2), из которых следует, что по содержанию некоторых аминокислот, таких как треонин, лейцин, фенилаланин, тирозин и валин, он превосходит эталонный белок. В глубинной биомассе гриба не обнаружены тяжелые металлы, такие как ртуть, кадмий, мышьяк, свинец. Также в мицелии обнаружено низкое содержание нуклеиновых веществ [5]. Эти результаты свидетельствуют о возможности использования данного штамма для получения белковых кормовых продуктов на основе растительных отходов.

Субстратом для биодеструкции служили опавшие листья (опад) тополя бальзамического *Populus balsamifera* L. Пробы для объекта исследования были отобраны в сентябре 2016 г. в окрестностях г. Красноярск.

Перед культивированием субстраты измельчали до размера частиц 2–5 мм, увлажняли 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.

Культивирование *Pleurotus pulmonarius* осуществляли при 25 °С до полного обрастания субстрата. Исследования химического состава продуктов после биодеструкции проводили на 15-е сутки культивирования.

Исследования химического состава субстратов проводили с использованием методик, принятых в биохимии и химии растительного сырья. Влажность субстрата после биодеструкции определяли методом высушивания. Спирто- и водорастворимые вещества выделяли с помощью 3-часовой экстракции при кипячении с

этиловым спиртом и водой соответственно. Определение легкогидролизуемых полисахаридов проводили путем гидролиза сырья 2% соляной кислотой в течение трех часов при кипячении, трудногидролизуемых полисахаридов – обработкой остатка 80% серной кислотой при комнатной температуре в течение двух часов. Для количественной оценки моносахаридов использовали эбулиостатический метод. Содержание лигниновых веществ, как негидролизуемого остатка, определяли гравиметрически. Зольность устанавливали сжиганием навески растительного материала с последующим прокаливанием золы в муфельной печи. Убыль массы субстрата рассчитывали, как потерю массы в процентах от первоначальной его навески [18].

Перевариваемость субстрата до и после биодеструкции определяли по методу А.Р. Жукова [19]. Навеску измельченного сырья помещали в круглодонную колбу и заливали 100 мл хлорфенольной смеси. Нагревали до кипения и выдерживали при слабом кипячении в течение 15 мин. Затем добавляли 40 мл дистиллированной воды и содержимое колбы фильтровали в колбу Бунзена через взвешенный и высушенный стеклянный фильтр с вложенным в него предварительно бумажный фильтр. Остаток на фильтре промывали водой до получения совершенно светлого фильтрата. Фильтр с осадком помещали в сушильный шкаф и при температуре 105 °С доводили до постоянной массы. Перевариваемость образца, $X_{пер}$, %, вычисляли по формуле

$$X_{пер} = G_1 \times K_{сух} - m_0 / G_1 \times K_{сух},$$

где G_1 – навеска материала, г; $K_{сух}$ – коэффициент сухости материала; m – масса остатка на фильтре, г [19].

Содержание нуклеиновых кислот исследовали по методу Спирина [20]. К 100 мг субстрата прибавляли 5 мл 0.5 моль/л раствора хлорной кислоты, смесь нагревали на кипящей водяной бане в течение 20 мин, затем пробу охлаждали и центрифугировали в течение 20 мин при 2000 об./мин, далее измеряли оптическую плотность надосадочной жидкости на спектрофотометре СФ-26 в кювете толщиной 10 мм при двух длинах волн: 270 нм и 290 нм по сравнению с контрольным раствором, которым служил раствор хлорной кислоты концентрацией 0.5 моль/л [20].

Содержание нуклеиновых кислот (X), мкг/мл вычисляли по формуле

$$X = (D_{270} - D_{290} / 0.19) \times 10.3 \times n,$$

где D_{270} и D_{290} – значения оптической плотности при соответствующей длине волны; 0.19 – удельная экстинкция; 10.3 – коэффициент пересчета количества фосфора на содержание нуклеиновых кислот; n – разведение [20].

Массовую концентрацию элементов в субстрате до и после биодеструкции определяли на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915МД.

Определение белка в образцах проводили с использованием амидо-черного 10В. Абсорбцию прозрачного супернатанта определяли на спектрофотометре КФК-2 при 610 нм, массовую долю белка – по калибровочному графику. Аминокислотный анализ осуществляли на автоматическом анализаторе аминокислот Т 339 М (Чехия). По площади пиков, пропорциональных количеству данной аминокислоты, устанавливали относительное содержание аминокислот в исследуемом материале [21].

Эксперименты проводили в двух повторностях. Статистическую обработку результатов проводили по стандартным методикам [22]. Полученные результаты не выходят за пределы доверительной вероятности $P = 0.95$.

Обсуждение результатов

Ранние исследования показали, что опавшие листья тополя являются благоприятным субстратом для культивирования грибов, поскольку в своем составе содержат необходимые для развития компоненты: полисахариды – до 33%, лигниновые вещества – 20.3%, минеральные вещества – 9.6%, экстрактивные вещества – 34%, основными из которых являются водорастворимые – 29.2% а.с.с. [23].

Максимальный ростовой коэффициент при поверхностном твердофазном культивировании штамма *Pleurotus pulmonarius* PP-3.2 на данном субстрате наблюдался на 11-е сутки и составил 19.5, радиальная скорость роста – 3.6 мм/сут [24]. Колонии гриба в процессе культивирования на опаде листьев тополя образуют пушистый мицелий матово-белового цвета. Мицелий с трудом отделяется от субстрата (рис.).

Для оценки кормовой ценности получаемого продукта был исследован компонентный состав субстрата после биодеструкции (табл. 1). Все расчеты приведены на единицу абсолютно сухого сырья (а.с.с.).

Для сравнения химического состава биодеструктированного субстрата с исходным производили пересчет полученных данных с учетом коэффициента убыли массы в процессе культивирования гриба. Убыль массы субстрата составила 23%.

Как следует из таблицы 1, компонентный состав субстрата после биодеструкции представлен как низкомолекулярными, так и высокомолекулярными соединениями. При культивировании происходит изменение биохимического состава субстрата, убыль массы в большей степени связана с конверсией экстрактивных веществ и легкогидролизуемых полисахаридов.

В процессе культивирования штамма *P. pulmonarius* PP-3.2 происходит уменьшение количества всех компонентов субстрата. Установлено, что общее содержание полисахаридов в процессе культивирования снизилось на 19.8% по сравнению с исходным. Отмечена тенденция преимущественного использования легкогидролизуемых полисахаридов, так их количество уменьшилось на 35.6%, в то время как содержание трудногидролизуемых полисахаридов осталось практически неизменным. Содержание лигниновых веществ уменьшилось на 9.4%, в сравнении с исходным субстратом. Таким образом, под действием ферментного комплекса штамма *P. pulmonarius* PP-3.2 биодеструкции подвергаются как углеводная составляющая сырья, так и лигниновые вещества. Общее содержание веществ лигноуглеводного комплекса в процессе биодеструкции снижается в 1.2 раза. Это свидетельствует о том, что гриб штамм *P. pulmonarius* PP-3.2 продуцирует комплекс ферментов (целлюлаз и оксидаз), позволяющих ему участвовать в биодеградации веществ лигноуглеводного комплекса и активно колонизировать послеэкстракционный остаток опада.

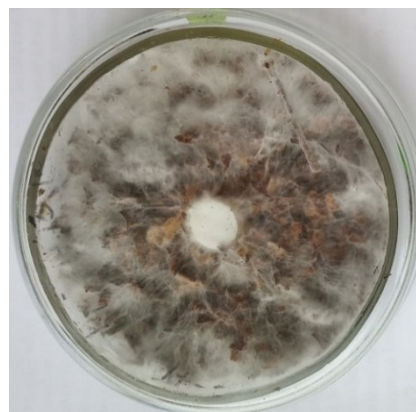
После культивирования в субстрате значительно уменьшилось количество экстрактивных веществ, их содержание сократилось в 1.8 раза, а именно водорастворимых – на 44.5%, спирторастворимых – на 38.8%.

Содержание минеральных веществ осталось практически неизменным. Характерной особенностью минеральных веществ является то, что они не синтезируются в живых организмах и должны регулярно поступать с кормами и водой. Кроме того, большинство эссенциальных макро- и микроэлементов не способны накапливаться в организме животных, даже при их высоком содержании во внешней среде. Элементный состав золы субстратов представлен в таблице 2.

Анализируя данные, представленные в таблице 2, можно сказать, что в золе субстратов преобладают цинк, железо и алюминий. В процессе культивирования происходит снижение их содержания: цинка и железа – примерно в 1.2 раза, алюминия – в 1.9 раза.



3 сутки



15 сутки

Морфология колоний штамма *Pleurotus pulmonarius* PP-3.2 на субстрате из опада листьев тополя

Таблица 1. Компонентный состав субстрата после биодеструкции

Компонент	Содержание в биодеструктированном субстрате, % а.с.с.	
	с учетом убыли массы	без учета убыли массы
Вещества, экстрагируемые горячей водой	16.2	21.1
Вещества, экстрагируемые этиловым спиртом	3.0	3.9
Легкогидролизуемые полисахариды	11.2	14.6
Трудногидролизуемые полисахариды	15.2	19.8
Лигниновые вещества	18.4	23.9
Минеральные вещества	9.5	12.3

Таблица 2. Элементный состав золы субстратов до и после культивирования

Наименование элемента	Содержание в субстрате, мкг/кг а.с.м.	
	до культивирования	после культивирования
Алюминий	130.8	68.4
Цинк	288.9	256.7
Медь	7.2	5.8
Железо	199.9	166.0
Стронций	22.0	18.0
Марганец	0.5	0.4
Свинец	0.5	0.3
Кадмий	0.9	0.6
Кобальт	1.0	0.8
Никель	1.6	1.3

Следует отметить, что в сравнении с другими кормовыми добавками в продукте биодеструкции концентрация свинца значительно ниже, чем в зеленой траве (3.3 мг/кг), концентрация кадмия в 4.9 раза ниже, чем в зерновых концентрированных кормах [25].

Содержание свинца и кадмия в продукте биодеструкции штамма *P. pulmonarius* PP-3.2 на листовом опаде тополя не превышают допустимые уровни в мясе и мясопродуктах (0.5 и 0.05 мг/кг соответственно) [26], а также в кормах для непродуктивных животных [27].

Из микроэлементов наибольшее значение для животных имеют железо, медь, кобальт, цинк, марганец, йод и др. Медь оказывает положительное влияние на устойчивость организма к заболеваниям, содержание меди в продукте находится на невысоком уровне (в норме не менее 5 мг/кг). В норме растительные корма содержат медь в количестве от 5 до 20 мг/кг сухой массы [16].

Вместе с тем отмечается высокое содержание железа и цинка в кормовом продукте. Дефицит цинка в растительных кормах обнаруживается при концентрациях 3–5 мг/кг, а уровень становится критическим при 2 мг/кг [28]. Кроме того, низкие концентрации цинка в организме животных повышают всасывание кадмия [29].

Таким образом, выявленные в результате исследований уровни концентрации кадмия, свинца, цинка и меди по санитарно-гигиеническим нормам не представляют опасности для окружающей среды.

Штамм PP-3.2 *P. pulmonarius* накапливает при культивировании на опаде тополя до 28% белка, что в 4 раза выше по сравнению с исходным субстратом. Аминокислотный состав белка продуктов, полученных в процессе биоконверсии, представлен в таблицах 3 и 4. Для сравнения в таблицах приведен аминокислотный состав эталонного белка – казеина [30]. Особую трудность при балансировании рационов животных представляет баланс по критическим аминокислотам (лизину, метионину, треонину, триптофану) и аминокислотам разветвленного ряда-РЦАК (валину, лейцину и изолейцину) [14].

В продукте биоконверсии было идентифицировано 16 аминокислот, в том числе 7 незаменимых. На долю незаменимых приходится 29.9% от общей суммы аминокислот, среди которых доминируют фенилаланин с тирозином, изолейцин, валин и треонин. Высокий уровень треонина (в 1.2 раза выше, чем в казеине) будет способствовать активному усвоению всех аминокислот, а также влиять на обмен веществ организма [14]. Следует отметить, что для белка, как продукта биоконверсии, характерно пониженное содержание метионина. В продукте наблюдается более высокое, например, по сравнению с белком пшеницы [31], содержание таких незаменимых аминокислот, как лизин (на 20%), треонин (на 75%), валин (на 33.8%), изолейцин (на 19%), лейцин (на 11.3%).

Таблица 3. Содержание незаменимых аминокислот в продукте биоконверсии

Аминокислота	Содержание, % от суммы аминокислот			
	эталонный белок		продукт биоконверсии	
	от суммы аминокислот	скор ¹	от суммы аминокислот	скор
Валин	5.0	100.0	5.5	110.0
Изолейцин	4.0	100.0	4.2	105.0
Лейцин	7.0	100.0	7.1	101.4
Фенилаланин+Тирозин	6.0	100.0	6.9	115.0
Метионин+ Цистин	3.5	100.0	1.2	34.3
Треонин	4.0	100.0	4.7	117.5
Лизин	5.5	100.0	3.6	65.5

¹скор – скорректированный аминокислотный коэффициент усвояемости белков, рекомендованный для применения при оценке качества белков FAO/WHO (1973).

Таблица 4. Содержание заменимых аминокислот в продукте биоконверсии

Аминокислота	Содержание, % от суммы аминокислот	Аминокислота	Содержание, % от суммы аминокислот
Аргинин	2.4	Тирозин	3.3
Гистидин	5.1	Пролин	1.2
Аспарагиновая кислота	25.3	Глицин	5.5
Серин	8.7	Аланин	7.5
Глутаминовая кислота	11.1	Цистин	–

В субстрате после культивирования также отмечено высокое содержание аспарагиновой и глутаминовой аминокислот. Эти кислоты вместе с амидами составляют половину всего аминного азота тканей животных, а в нервной системе составляют 70% всех аминокислот [14].

Одним из важных показателей качества является перевариваемость кормового продукта. Перевариваемость сухого вещества кормов составляет от 35–40 до 95–99% [32]. В ходе исследования установлено, что перевариваемость продукта до культивирования составляла 49.8%, после биодеструкции увеличилась и составила 54%.

Содержание нуклеиновых кислот в продукте биодеструкции составляет не более 0.3%. В избыточном количестве они опасны для животных. Содержание нуклеиновых кислот на 1 кг сухого вещества рациона не должно превышать 9 г [33].

Основываясь на полученных результатах химического состава субстрата, количественном и качественном составе белка, низком содержании нуклеиновых кислот, отсутствии тяжелых металлов, можно рекомендовать к использованию продукт биоконверсии опавших листьев тополя *P. pulmonarius* (штамм РР-3.2) в качестве белковой кормовой добавки.

Выводы

В результате исследования установлен компонентный состав продукта биоконверсии, полученный в процессе культивирования опавших листьев тополя бальзамического штаммом *P. Pulmonarius* РР-3.2. Данный штамм утилизирует в первую очередь экстрактивные вещества и легкогидролизуемые полисахариды, содержание которых с учетом убыли массы (23%) снижается на 44 и 36% соответственно.

Полученный продукт содержит до 28% белка, доля незаменимых аминокислот в белке составляет 29.9% от суммы аминокислот. Высокий скор наблюдается по фенилаланину с тирозином, треонину, валину и изолейцину. Перевариваемость продукта составляет 54%, содержание нуклеиновых кислот – 0.3%. Содержание тяжелых металлов в субстрате после культивирования не превышает норм предельно допустимой концентрации.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности использования в качестве белковой кормовой добавки продукта биоконверсии опавших листьев тополя без вреда для сельскохозяйственных животных.

Список литературы

1. Уланова Р.В., Гольштейн В.Г., Колпакова В.В. Изучение культивирования штамма *Pleurotus ostreatus* в глубокой культуре на среде зернового экстракта // Достижение науки и техники АПК. 2018. Т. 32. №8. С. 82–87.
2. Тарнопольская В.В., Алаудинова Е.В., Миронов П.В. Перспективы использования базидиальных грибов для получения кормовых продуктов // Хвойные бореальной зоны. 2016. Т. 37. №5–6. С. 338–341.
3. Pinedo-Rivilla C., Aleu J., Collado I.G. Pollutants biodegradation by Fungi // Curr. Org. Chem. 2009. Vol. 13, no. 12. Pp. 1194–1214. DOI: 10.2174/138527209788921774.
4. Mshandete A.M., Mgonja J.R. Submerged liquid fermentation of some Tanzanian Basidiomycetes for the production of mycelial biomass, exopolysaccharides and mycelium protein using wastes peels media // ARPN Journal of Agricultural and Biological Science. 2009. Vol. 4, no. 6. Pp. 1–13.
5. Мельникова Е.А., Тарченкова Т.М., Миронов П.В. Использование глубокой биомассы мицелия *Pleurotus pulmonarius* в качестве посевного материала для выращивания плодовых тел // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31. №3–4. С. 97–100.
6. Патент № 258874 (РФ). Способ получения биомассы гриба *Pleurotus pulmonarius* / Е.А. Мельникова, Е.Б. Мельников, Т.В. Рязанова, П.В. Миронов. 27. 06.2016.
7. Величко Н.А., Берикашвили З.Н. Химический состав плодового тела гриба *Pleurotus ostreatus* (Fr) Kumm: технология переработки // Вестник КрасГАУ. 2008. №4. С. 274–278.

8. Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре: сб. науч. труд. / под ред. С.П. Вассер. Киев, 2011. Т. 1. 212 с.
9. Бардашева А.В., Косогова Т.А., Ильичева Т.Н., Теплякова Т.В. Противовирусная активность водных экстрактов и суммарных полисахаридов из базидиомицетов в отношении вируса простого герпеса 2-го типа и вируса гриппа типа А // Успехи медицинской микологии. 2015. Т. 14. С. 389–392.
10. Алексеенко Е.Н., Полишко Т.М., Винников А.И. Пищевая, лечебная и экологическая ценность грибов *Pleurotus ostreatus* // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2010. Т. 1, вып. 18. С. 3–9.
11. Лазарева Т.Г., Александрова Е.Г. Анализ производства и рынка грибов в России // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11. №1. URL: <https://esj.today/PDF/75ECVN119.pdf>.
12. Леконцева И.В., Мамаева О.О., Исаева Е.В. Древесная зелень пихты как субстрат для био конверсии базидиальных грибов // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. 37. №3–4. С. 265–270.
13. Корма, их классификация и питательная ценность [Электронный ресурс]. URL: <https://helpiks.org/8-101241.html>
14. Аминокислоты в кормах животных [Электронный ресурс]. URL: <http://belagrotorg.ru/stati/3009-aminokisloty-v-kormakh-zhivotnykh>.
15. Зырянова У.П. Влияние экологических факторов на содержание тяжёлых металлов и Cs-137 в микобиоте лесных экосистем: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ульяновск, 2007. 28 с.
16. Фещенко В.Н. Содержание тяжелых металлов в кормовых культурах Новосибирской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 10 (120). С. 33–36.
17. Мельникова Е.А., Литовка Ю.А., Миронов П.В. Морфологические особенности базидиального гриба *Pleurotus pulmonarius* в поверхностной и глубинной культуре // Вестник КрасГАУ. 2013. №7. С. 170–175.
18. Рязанова Т.В., Чупрова Н.А., Исаева Е.В. Химия древесины. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2012. 428 с.
19. Жуков А.П. и др. Метод определения перевариваемости кормов in vitro // Труды Саратовского зооветинститута. 1961. Т. 10. С. 109–124.
20. Спиринов А.С. Спектрофотометрическое определение суммарного количества нуклеиновых кислот // Биохимия. 1958. Т. 23. №4. С. 656.
21. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М., 1985. 255 с.
22. Лакин Г.Ф. Биометрия. М., 1990. 351 с.
23. Исаева Е.В., Мамаева О.О., Рязанова Т.В. Био конверсия опавших листьев тополя бальзамического мицелиальными грибами рода *Trichoderma* // Журнал СФУ. Химия. 2017. Вып. 10 (3). С. 381–389.
24. Бухало А.С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. Киев, 1988. 144 с.
25. Тяжелые металлы в кормах и продуктах [Электронный ресурс]. URL: https://studbooks.net/1378043/agropromyshlennost/tyazhyolye_metally_kormah_produkta.
26. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2001. 269 с.
27. Нормы и требования №13-7-2/174. Ветеринарно-санитарные нормы и требования к качеству кормов для непродуктивных животных. М., 1997. 100 с.
28. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжёлые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск, 2001. 229 с.
29. Косолапов В.М., Чуйков В.А., Худякова Х.К., Косолапова В.Г. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа. М., 2019. 272 с.
30. Joint FAO/WHO Ad hoc expert committee on energy and protein requirements. Rome, 1973. P. 522.
31. Крупа из зерна ржи и тритикале [Электронный ресурс]. URL: <https://vniiz.-org/science/publication/article-221>.
32. Перевариваемость корма [Электронный ресурс]. URL: <https://soft-agro.com/kormoproizvodstvo/perevarivaemost-korma.html>.
33. Питательная ценность амидов для животных [Электронный ресурс]. URL: https://studbooks.net/1103910/agropromyshlennost/pitatelnaya_tsennost_amidov_zhivotnyh.

Поступила в редакцию 10 января 2021 г.

После переработки 17 февраля 2021 г.

Принята к публикации 22 февраля 2021 г.

Для цитирования: 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/jcprp.2021018851.

Mamaeva O.O.^{1*}, Isaeva E.V.¹, Loskutov S.R.², Plyashechnik M.A.² COMPONENT COMPOSITION OF THE BIODEGRADATION PRODUCT OF FALLEN LEAVES BY BASIDIOMYCETES *PLEUROTUS PULMONARIUS* (STRAIN PP-3.2)

¹ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, pr. Krasnoyarskii Rabochii, 31, Krasnoyarsk, 660037 (Russia), e-mail: olga07_95@mail.ru

² Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS», Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 (Russia)

Today, plant waste, including fallen poplar leaves (litter), are a promising raw material for the production of useful products using bioconversion, such as protein feed additives.

The aim of this study was to study the component composition of the products obtained as a result of the bioconversion of leaf litter. The strain PP-3.2 *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél. In the process of substrate conversion, strain PP-3.2 primarily utilizes extractives and easily hydrolyzable polysaccharides, the amount of which decreases by 44 and 36%, respectively. The total content of polysaccharides is reduced by 20%, lignin substances - 9.4%. The loss of substrate mass based on leaf litter was 23%. The product obtained after cultivation contains 28% protein. Analysis of the amino acid composition of the protein showed a high rate of phenylalanine with tyrosine (115), threonine (117.5), valine (110) and isoleucine (105%). Also, the biodegradation product has a high content of glutamic and aspartic acids (11.2 and 25.3% of the total amino acids, respectively). The levels of cadmium, lead and copper revealed as a result of studies do not exceed the maximum permissible concentrations established by the veterinary department. At the same time, there is a high content of iron (166.0 µg/kg) and zinc (256.7 mg/kg) in the feed product. The digestibility of the product is 54%, the content of nucleic substances is up to 0.3%.

Thus, the results obtained show the possibility of using the product of the conversion of poplar fallen leaves as a protein feed additive.

Keywords: bioconversion, litter, poplar, protein feed product, amino acid analysis, chemical composition, digestibility, heavy metals, nucleic acids, *Pleurotus pulmonarius*.

References

1. Ulanova R.V., Gol'shteyn V.G., Kolpakova V.V. *Dostizheniye nauki i tekhniki APK*, 2018, vol. 32, no. 8, pp. 82–87. (in Russ.).
2. Tarnopol'skaya V.V., Alaudinova Ye.V., Mironov P.V. *Khvoynyye boreal'noy zony*, 2016, vol. 37, no. 5–6, pp. 338–341. (in Russ.).
3. Pinedo-Rivilla C., Aleu J., Collado I.G. *Curr. Org. Chem.*, 2009, vol. 13, no. 12, pp. 1194–1214. DOI: 10.2174/138527209788921774.
4. Mashandete A.M., Mgonja J.R. *ARP Journal of Agricultural and Biological Science*, 2009, vol. 4, no. 6, pp. 1–13.
5. Mel'nikova Ye.A., Tarchenkova T.M., Mironov P.V. *Khvoynyye boreal'noy zony*, 2013, vol. 31, no. 3–4, pp. 97–100. (in Russ.).
6. Patent 258874 (RU). 27. 06.2016. (in Russ.).
7. Velichko N.A., Berikashvili Z.N. *Vestnik KrasGAU*, 2008, no. 4, pp. 274–278. (in Russ.).
8. *Biologicheskiye osobennosti lekarstvennykh makromitsetov v kul'ture: sb. nauch. tr.* [Biological features of medicinal macromycetes in culture: collection of articles. scientific. tr.], ed. S.P. Vasser. Kiev, 2011, vol. 1, 212 p. (in Russ.).
9. Bardasheva A.V., Kosogova T.A., Il'icheva T.N., Teplyakova T.V. *Uspekhi meditsinskoy mikologii*, 2015, vol. 14, pp. 389–392. (in Russ.).
10. Alekseenko E.N., Polyshko T.M., Vynnykov A.Y. *Visnyk Dnipropetrovs'koho universytetu. Biologiya. Ekologiya*, 2010, vol. 1, no. 18, pp. 3–9. (in Russ.).
11. Lazareva T.G., Aleksandrova Ye.G. *Vestnik Yevraziyskoy nauki*, 2019, vol. 11, no. 1. URL: <https://esj.today/PDF/75ECVN119.pdf>. (in Russ.).
12. Lektontseva I.V., Mamayeva O.O., Isayeva Ye.V. *Khvoynyye boreal'noy zony*, 2019, vol. 37, no. 3–4, pp. 265–270. (in Russ.).
13. *Korma, ikh klassifikatsiya i pitatel'naya tsennost'* [Feed, their classification and nutritional value]. URL: <https://helpiks.org/8-101241.html>. (in Russ.).
14. *Aminokisloty v kormakh zhivotnykh* [Amino acids in animal feed]. URL: <http://belagrotorg.ru/stati/3009-aminokisloty-v-kormakh-zhivotnykh>. (in Russ.).
15. Zyryanova U.P. *Vliyaniye ekologicheskikh faktorov na sodержaniye tyazholykh metallov i Cs-137 v mikrobiote les-nykh ekosistem: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk.* [The influence of environmental factors on the content of heavy metals and Cs-137 in the mycobiota of forest ecosystems: author. dis. ... Cand. biol. sciences]. Ulyanovsk, 2007, 28 p. (in Russ.).
16. Feshchenko V.N. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 10 (120), pp. 33–36. (in Russ.).
17. Mel'nikova Ye.A., Litovka Yu.A., Mironov P.V. *Vestnik KrasGAU*, 2013, no. 7, pp. 170–175. (in Russ.).
18. Ryazanova T.V., Chuprova N.A., Isayeva Ye.V. *Khimiya drevesiny*. [Wood chemistry]. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2012, 428 p. (in Russ.).
19. Zhukov A.P. i dr. *Trudy Saratovskogo zoovetinstituta*, 1961, vol. 10, pp. 109–124. (in Russ.).
20. Spirin A.S. *Biokhimiya*, 1958, vol. 23, no. 4, p. 656. (in Russ.).
21. Pleshkov B.P. *Praktikum po biokhīmii rasteniy*. [Workshop on plant biochemistry]. Moscow, 1985, 255 p. (in Russ.).
22. Lakin G.F. *Biometriya*. [Biometrics]. Moscow, 1990, 351 p. (in Russ.).

* Corresponding author.

23. Isayeva Ye.V., Mamayeva O.O., Ryazanova T.V. *Zhurnal SFU. Khimiya*, 2017, no. 10 (3), pp. 381–389. (in Russ.).
24. Bukhalo A.S. *Vysshiyе s'yedobnyye bazidiomitsety v chistoy kul'ture*. [Higher edible Basidiomycetes in pure culture]. Kiev, 1988, 144 p. (in Russ.).
25. *Tyazhelye metally v kormakh i produktakh* [Heavy metals in feed and food]. URL: https://studbooks.net/1378043/agropromyshlennost/tyazhyolye_metally_kormah_produkta. (in Russ.).
26. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigiyenicheskiye trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov*. [SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for food safety and nutritional value]. Moscow, 2001, 269 p. (in Russ.).
27. *Normy i trebovaniya № 13-7-2/174. Veterinarno-sanitarnyye normy i trebovaniya k kachestvu kormov dlya ne-produktivnykh zivotnykh*. [Norms and requirements No. 13-7-2/174. Veterinary and sanitary norms and requirements for the quality of feed for non-productive animals]. Moscow, 1997, 100 p. (in Russ.).
28. Il'in V.B., Syso A.I. *Mikroelementy i tyazholyye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoy oblasti*. [Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region]. Novosibirsk, 2001, 229 p. (in Russ.).
29. Kosolapov V.M., Chuykov V.A., Khudyakova Kh.K., Kosolapova V.G. *Mineral'nyye elementy v kormakh i metody ikh analiza*. [Mineral elements in feed and methods of their analysis]. Moscow, 2019, 272 p. (in Russ.).
30. *Joint FAO/WHO Ad hoc expert committee on energy and protein requirements*. Rome, 1973, p. 522.
31. *Krupa iz zerna rzhi i tritikale* [Rye and triticale groats]. URL: <https://vniiz.-org/science/publication/article-221>. (in Russ.).
32. *Perevarivayemost' korma* [Digestibility of feed]. URL: <https://soft-agro.com/kormoproizvodstvo/perevarivaemost-korma.html>. (in Russ.).
33. *Pitatel'naya tsennost' amidov dlya zivotnykh* [Nutritional value of amides for animals]. URL: https://studbooks.net/1103910/agropromyshlennost/pitatelnaya_tsennost_amidov_zivotnykh. (in Russ.).

Received January 10, 2021

Revised February 17, 2021

Accepted February 22, 2021

For citing: Mamaeva O.O., Isaeva E.V., Loskutov S.R., Plyashechnik M.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 277–285. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021018851.

